

# Diseño de instalaciones de una plataforma *offshore* de investigación de la vida marina

Trabajo final de Máster



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:  
Baptiste Boyet

Dirigido por  
Rosa M<sup>a</sup> Fernández

*Máster Universitario en Gestión y Operación de instalaciones  
Energéticas Marítimas*

Barcelona, 07 de octubre de 2019

Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática  
Industrial



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona



---

---



---

# *Agradecimientos*

A mi familia, que me animaron a aventurarme en el mundo, apoyándose siempre con mis estudios en Francia, Australia y ahora España, permitiendo que me convierta en el hombre que soy.

A mi novia Ester S., por acompañarme en la vida diaria, animarme a seguir adelante cuando estaba saturado, y por su paciencia infinita y comprensión acerca de mi proyecto de vida, que incluye este trabajo y la creación de una micro-empresa de consultoría en energía este año 2019.

A mi tutora Rosa, por su disponibilidad y paciencia, así como por todo el soporte técnico y moral, y la impecable supervisión prestada durante la elaboración del trabajo.

Finalmente, quisiera dedicar este proyecto a las personas que leerán este trabajo final de máster. Espero que encuentren información sobre los conceptos que buscan, animando los que estén preparando su propio trabajo final de carrera en desarrollar un proyecto sobre algo que les apasiona y que les sirva para el desarrollo de su proyecto de vida.

---

# Resumen

Los arrecifes de coral están en decadencia al nivel mundial. La investigación científica actual ha llegado a incriminar el cambio climático y más específicamente la subida de la temperatura del mar en zonas tropicales como causa principal de los episodios recientes blanqueamiento de coral, afectando más del 50% de los arrecifes de Coral en los últimos años.

Este trabajo recopila información científica sobre los arrecifes de Coral e investiga las redes de sensores inalámbricos cuyo desarrollo será necesario para la monitorización local de los arrecifes.

Basándonos en un prediseño 3D de una plataforma offshore de investigación de la vida marina, este trabajo investiga la factibilidad del diseño energético de una plataforma de investigación marina, cuyo planteamiento incluye una micro-red eléctrica gestionable donde las fuentes primarias de generación energética son totalmente renovables.

El trabajo se basa en un dimensionamiento energético híbrido que incluye el dimensionamiento del campo solar fotovoltaico y de las baterías mediante software PVsyst por un lado, y una modelización de generación eólica, la gestión de la batería y de los flujos energéticos, como la gestión de la demanda mediante una herramienta Excel por otro lado.

Sin embargo, la herramienta, así como las modelizaciones y conceptos presentados se pueden aplicar a todo tipo de micro-red eléctrica aislada y suministrada por fuentes de generación eólica y solar fotovoltaica.

Por último, se realiza una validación de la gestión energética de la herramienta Excel realizada específicamente para este trabajo con respecto a los resultados de PVsyst y presentamos los resultados de las simulaciones realizadas.

Palabras Claves: Arrecife de coral, micro-red, energía renovable, red de sensores inalámbricos, cargas gestionables, solar fotovoltaico, eólico, baterías.

---

# Abstract

*The world coral reefs are quickly degrading. Scientific investigation shows climate change is the main environmental factor for such a drastic increase of bleaching wave happening everywhere on the globe. The so called "coral reef Crisis" have seen more than 50% of the world coral affected in recent years.*

*This work starts with the general investigation of scientific state of knowledge about coral reefs and bleaching. Then we investigate the technologies and challenges regarding coral reef monitoring.*

*We developed a 3D model of the Offshore Platform of Marine Life Investigation "OPOMLI" and state the service and technical functionality the platform should deliver. Based on this analysis, we investigate the feasibility of the energetic system of the platform including an electrical micro-grid which source are renewable energy converters and which load are manageable through a demand side management algorithm.*

*The work modeling is based on energetic dimensioning of the solar array and battery using state of art recognized PVSyst software on one side, and the wind generation modeling, battery and energetic flux management and demand side management using automated excel spreadsheets on the other side.*

*The automated spreadsheet and the different modelling and concepts presented in this work are also applicable to electrical micro-grids involving solar photovoltaic array, wind turbine, batteries and manageable loads.*

*At last, we present a validation of the automated excel modelling with respect to PVSyst results for the Solar photovoltaic with battery energetic grid management and present results of the extended system simulations.*

*Keywords: Coral reef, microgrid, renewable energy, Wireless sensor grid, demand management, solar photovoltaics, wind turbine, battery.*

---

# Prefacio

Siendo de la isla de Réunion, pequeña isla francesa del Océano Índico, a unos 700 km del Este de Madagascar, siempre he tenido una conexión con el Océano, siento su belleza y su potencia, su riqueza y su debilidad.

De joven, cuando busqué una carrera por estudiar, me interesaban las ciencias marinas, la biología, los ecosistemas, la protección del medio ambiente integrándolo al ambiente humano y sus actividades.

Pero después de dejarme convencer por mi entorno que son muchos estudios para pocas salidas laborales, y cuando uno tiene la suerte de trabajar de biólogo marino, pues pasa la mayoría del tiempo en un laboratorio, decidí seguir el camino de la ingeniería industrial.

Ahora, ya hace 4 años que acabé mis estudios de ingeniería industrial (carera + master) en Energías, otro gran tema por el cual siento una gran atracción, y al cual me dedico desde entonces, como ingeniero de proyectos eléctricos de energía renovable.

Hace diez años que he dejado de vivir en la isla de Réunion, y cada vez que tengo la oportunidad de visitar a mis familiares, también aprovecho para buscar la conexión que tenía con el mar, lo cual es mucho más complicado desde septiembre de 2011, fecha a partir de la cual están prohibidas las actividades recreativas náuticas (bañarse, surf, windsurf...) debido al incremento brusco de los ataques de tiburones. Sin embargo, existen lagunas de agua salada alrededor de la isla, donde la poca profundidad de las aguas debido a la geomorfología de los arrecifes de coral y la barrera de coral impiden la presencia de los tiburones.



Figura 1: Laguna de l'Hermitage, isla de Réunion

---

Es en estas zonas de arrecifes de coral, que he podido buscar esta conexión que tenía con el océano, buceando en búsqueda de la belleza que me podían ofrecer las lagunas, y a medida que pasaron los años es donde he podido ver la degradación de los arrecifes de coral, la invasión de macroalgas y los escasos peces de gran tamaño, como se veían antes. Diría que, en los arrecifes de la Réunion, gran mayoría del coral está muerto, y son pocos los santuarios donde todavía podemos ver arrecifes sanos.

Una cosa es leer en las noticias que muere la gran barrera de coral a un ritmo descabellado debido al calentamiento global y otra ver los arrecifes de coral que conozco morir al mismo ritmo.

Por lo tanto, estas experiencias de conexión con el mar de Réunion, así como en otros mares y océanos me han llevado a la conclusión de que algo tenemos que intentar para dar la posibilidad a los profesionales de la protección de la biodiversidad de realizar su trabajo más cerca del epicentro del desastre ecológico al cual nos enfrentamos.

Entonces, lo que propongo con este trabajo final de máster, es diseñar una plataforma de investigación de la vida marina o "OFFSHORE PLATFORM OF MARINE LIFE INVESTIGATION - OPOMLI", en inglés.

Propuse a un compañero de trabajo y amigo, Gabriel de Guglielmo, Ingeniero civil y estudiante en máster de Ingeniería de puentes y caminos, de trabajar conmigo sobre esta plataforma, nos repartimos el trabajo de la forma que las tareas relacionadas con el diseño estructural, de flotabilidad, repartición de cargas hagan parte de su trabajo final de máster y que el diseño de instalaciones, sensores, modelización energética sea el objeto de mi proyecto final de máster y en fin de esta memoria.

Como estoy empezando el trabajo antes que él, propongo también realizar una definición arquitectónico conceptual de la plataforma, para tener una base de trabajo, que se modificaría para una probable versión básica incluyendo la parte estructural, flotabilidad y estable de la plataforma OPOMLI.

---

# Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
PREFACIO	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VIII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XV
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 CONTEXTO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ESTRUCTURA Y ETAPAS DEL PROYECTO	2
<b>CAPÍTULO 2. SOBRE LOS ARRECIFES DE CORAL</b>	<b>4</b>
2.1 ANATOMÍA DEL CORAL	5
2.1.1 LOS PÓLIPOS, ANIMALES A LA BASE DE LOS ARRECIFES DE CORAL	5
2.1.2 ARRECIFES DE CORAL DE AGUAS PROFUNDAS Y TROPICALES.	6
2.2 MEDIO AMBIENTE	9
2.3 ESTRÉS PERJUDICIAL A LOS ARRECIFES DE CORAL	12
2.4 BLANQUEAMIENTO DEL CORAL	13
2.5 CONCLUSIÓN CAPÍTULO 2	16
<b>CAPÍTULO 3. DEFINICIÓN ARQUITECTÓNICO CONCEPTUAL</b>	<b>17</b>
3.1 FILOSOFÍA DEL DISEÑO DE LA PLATAFORMA Y OBJETIVOS	17
3.2 FILOSOFÍA DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO	18
3.3 FUNCIONES TÉCNICAS DE LA PLATAFORMA OPOMLI	19
3.4 PRESENTACIÓN DE LA PLATAFORMA CONCEPTUAL	20
<b>CAPÍTULO 4. INSTALACIONES DE MONITORIZACIÓN DEL ARRECIFE DE CORAL</b>	<b>24</b>
4.1 GLOSARIO DE ESCALAS UTILIZADAS	24
4.2 GENERALIDADES SOBRE LA MONITORIZACIÓN OCEÁNICA	25
4.3 MONITORIZACIÓN MEDIANTE RED DE SENSORES LOCAL	27
4.3.1 GENERALIDADES SOBRE LAS BOYAS NODO	30
4.3.2 COMUNICACIONES	31
4.3.2 FUNCIONAMIENTO DE UN NODO SENSOR	33

---

4.4 EJEMPLO DE RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA MONITORIZACIÓN DEL ARRECIFE DE CORAL DE L'HERMITAGE	36
4.4.1 UBICACIÓN DE LOS NODOS SENSOR Y GENERALIDADES	36
4.4.2 SELECCIÓN DE <i>HARDWARE</i>	39
4.4.3 ESTIMACIÓN DE CONSUMOS ENERGÉTICOS DE UN NODO SENSOR	42
4.5 VENTAJAS AL TENER LA ESTACIÓN OPOMLI JUNTO A REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES MARINOS	47
 CAPÍTULO 5. INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA PLATAFORMA	 48
5.1 CONSUMOS ELÉCTRICOS DE LA PLATAFORMA OPOMLI	48
5.2 FILOSOFÍA DEL DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LA PLATAFORMA OPOMLI	55
5.2.1 LA ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	56
5.2.2 INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON BATERÍAS	57
5.2.2 AGREGACIÓN DE FUENTE EÓLICA Y GESTIÓN DE CARGA AL SISTEMA SOLAR CON BATERÍAS	60
5.3 DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR SOLAR FOTOVOLTAICO CON BATERÍAS (PVSYST)	60
5.3.1 DATOS CLIMÁTICOS	61
5.3.2 BREVE DESCRIPCIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO PVSYST Y LIMITACIONES	66
5.3.3 CONFIGURACIÓN DE PLANTA	73
5.3.4 PRESENTACIÓN DE LAS PÉRDIDAS	74
5.3.5 RESUMEN DE LAS PÉRDIDAS	77
5.4 RESULTADOS DEL DISEÑO SOLAR FOTOVOLTAICO CON BATERÍAS	78
5.4.1 RESULTADOS ANUALES	79
5.4.2 RESULTADOS MENSUALES	80
 CAPÍTULO 6. AMPLIACIÓN DE LA MODELIZACIÓN PVSYST	 87
6.1 FILOSOFÍA DE LA MODELIZACIÓN ENERGÉTICA	87
6.2 MODELIZACIÓN DE LA GENERACIÓN EÓLICA	89
6.3 MODELIZACIÓN DE LA BATERÍA	97
6.3.1 MODELIZACIÓN DEL CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA BATERÍA	98
6.3.2 MODELIZACIÓN DE LA RESISTENCIA INTERNA	100
6.3.3 MODELIZACIÓN DE LA TENSIÓN EN CIRCUITO ABIERTO EN FUNCIÓN DEL ESTADO DE CARGA	101
6.3.4 MODELIZACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA BATERÍA	103
6.3.5 MODELIZACIÓN DEL AUTO DESCARGA DE LA BATERÍA	105
6.3.6 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LA BATERÍA	106
6.3.7 MODELIZACIÓN DE LA DURABILIDAD DE LA BATERÍA.	107
6.3.8 RESUMEN DE LA MODELIZACIÓN PROPUESTA DEL CONJUNTO DE BATERÍAS.	113
6.4 GESTIÓN DE LA BATERÍA	113
6.5 GESTIÓN ENERGÉTICA	115
6.6 VALIDACIÓN DEL MODELO EXCEL COMPARADO CON LOS RESULTADOS PVSYST	119
6.7 GESTIÓN DE LA DEMANDA	122
6.8 APORTACIÓN DE LA FUENTE EÓLICA DE GENERACIÓN EN EL BALANCE GLOBAL ENERGÉTICO	127
6.9 APORTACIÓN DE LA GESTIÓN DE CARGAS EN EL BALANCE GLOBAL ENERGÉTICO	128

---

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	136
---	-----

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	138
----------------------------	-----

ANEXO I.1. RESULTADOS PVSYST VC0	
----------------------------------	--

ANEXO I.2. RESULTADOS PVSYST VC1	
----------------------------------	--

ANEXO I.3. RESULTADOS PVSYST VC2	
----------------------------------	--

ANEXO II.1. FICHA TÉCNICA PANELES FOTOVOLTAICOS	
---	--

ANEXO II.2. FICHA TÉCNICA EÓLICA SILENT WIND 500W	
---	--

ANEXO II.3. FICHA TÉCNICA BATERÍA POWERWALL2 TESLA	
--	--

ANEXO II.4. FICHAS TÉCNICAS EQUIPOS CONSUMIDORES (NO EXHAUSTIVO)	
--	--



---

# Lista de Figuras

Figura 1: Laguna de l'Hermitage, isla de Réunion .....	vi
Figura 2: Barrera de Coral y Arrecife de coral de nueva Caledonia visto desde el espacio, NASA.....	4
Figura 3: Corte transversal de un pólipo – © Emily Meng para NOAA. [5].....	5
Figura 4: Ilustración de coral de aguas profundas colectado durante las campañas de investigación S.A.S le Prince Albert 1er de Mónaco. [6].....	6
Figura 5: Fotografía de zooxanthellae. © Scott Santos, State University of New York at Buffalo. [5] .....	7
Figura 6: Arrecifes de coral tropical en perfecto estado de salud. Fidji. Foto de Roberto Rinaldi. ©. [7] ...	8
Figura 7: Fotografías y esquemas representando la arquitectura de una colonia de pólipos, Los cnidocytos son las células del tentáculo que despliegan una pestaña venenosa cuando notan la presencia de una presa. Ilustración del instituto oceanográfico de Mónaco, traducido al castellano por el autor de este documento. [7].....	9
Figura 8: Penetración de luz según su longitud de onda. [5] .....	10
Figura 9: Repartición geográfica de los mayores arrecifes de coral. [9] .....	11
Figura 10: Ciclo geológico de una isla volcánica desde el nacimiento de la isla hasta el hundimiento del atolón formando un guyot [10] .....	12
Figura 11: Nivel de alerta máxima emitido por NOAA en 2014 sobre el blanqueamiento debido a una subida prolongada de temperaturas del mar. Más de 70% de los arrecifes de coral al nivel global han sido expuesto a niveles de estrés propicio al blanqueamiento. [1].....	14
Figura 12: Vista en planta del diseño arquitectónico de la plataforma OPOMLI. ....	21
Figura 13: Otras Vistas 3D del diseño arquitectónico conceptual de la plataforma OPOMLI.....	23
Figura 14: Principios de Investigación Global mediante Sensores Ópticos (fotografía, Imágenes multi espectral...) fuente: James A. Goodman et al. [16].....	25
Figura 15: Presentación del concepto de red de sensores inalámbricos. ....	28
Figura 16: Estado de sensores marinos después de 30-40 días en el ambiente marino. [20] .....	29
Figura 17: Boya nodo sensor tipo. Fuente: Albaladejo et al [19] .....	31
Figura 18: Comunicación <i>Point to Point</i> y <i>multihop</i> . Fuente: Albaladejo et al [19] .....	32
Figura 19: Diagrama bloque tipo de un nodo sensor – presentación de concepto.....	34
Figura 20: Ubicación tipo de la red de sensores inalámbricos - OPOMLI RÉUNION.....	37
Figura 21: Antena tipo omnidireccional para aplicaciones WIMAX.....	41
Figura 22: 2 ciclos de consumo de los nodos sensores. ....	45
Figura 23: Diagrama bloque tipo de un nodo sensor tipo– OPOMLI .....	46

---

Figura 24: Perfil horario consumos eléctricos instalación eléctrica OPOMLI Réunion – consumos por equipos.....	53
Figura 25: Perfil horario consumos eléctricos instalación eléctrica OPOMLI Réunion – Consumo horario total de la plataforma .....	54
Figura 26: Perfil horario consumos eléctricos OPOMLI y generación solar día (Clear sky).....	58
Figura 27: Perfil horario consumos eléctricos OPOMLI y generación solar día nublado. ....	59
Figura 28: Comparativa de las series de datos a nuestra disposición .....	63
Figura 29: Irradiación solar mensual y variación de T del emplazamiento considerado- OPOMLI Réunion. ....	64
Figura 30: Perfil del terreno a -120° de azimut. Fuente: Google Earth. ....	65
Figura 31: Curva de sol con la curva de horizonte en PVsyst con sombras lejanas. ....	66
Figura 32: Ejemplo de Diseño paneles fijos orientados con azimut 0 e inclinación 40° VC0. A la izquierda las curvas de optimización de los ángulos Anual y a la derecha las curvas de optimización de los ángulos para los meses de verano. Abajo el resumen para VC1.....	67
Figura 33: Herramienta de optimización de la potencia pico de la planta solar vs la probabilidad de no satisfacer la demanda. ....	69
Figura 34: Curvas de funcionamiento de las baterías $V=F(SOC)$ .....	70
Figura 35: Curvas IV de los paneles fotovoltaicos seleccionados CS3W-410HE.....	71
Figura 36: Diagrama unifilar tipo de la instalación fotovoltaica aislada en PVsyst. ....	72
Figura 37: Diagrama de SANKEY de las pérdidas del sistema comentado. Fuente: Informe Resultado PVsyst VC0.....	74
Figura 38: Curva factor IAM .....	76
Figura 39: Comparativa Resultados Solar fotovoltaico mediante PVsyst [Resultados en kWh] .....	79
Figura 40: Comparativa Resultados Solar Mensuales VC0-VC1.....	83
Figura 41: BALANCE ENERGETICO DIARIO OPOMLI PVSYST VC0.....	84
Figura 42: BALANCE ENERGETICO HORARIO OPOMLI PVSYST VC0. (MES DE ENERO TMY) .....	85
Figura 43: BALANCE ENERGETICO HORARIO OPOMLI PVSYST VC0. (MES DE JULIO TMY) .....	86
Figura 44: Diagrama eléctrico conceptual de la instalación eléctrica OPOMLI. ....	88
Figura 45: Tubo de aire y disco rotor de una turbina eólica. ....	89
Figura 46: Curva de potencia de un aerogenerador tipo de eje vertical con control de potencia pitch, y la curva teórica de potencia aprovechable máxima (Pv dividido por el límite de Betz). ....	91
Figura 47: Curva de potencia del mini-aerogenerador SilentWind 500W seleccionado. ....	91
Figura 48: Factor de planta diario fotovoltaico y eólico .....	93
Figura 49: Modelo eléctrico de las baterías de Litio-Ion.....	99

---

Figura 50: Estado de arte de los Modelos eléctrico de las baterías de Litio-ion. Fuente: Min Chen et Al.	99
Figura 51: Factor de aumento de la resistencia interna en función de la temperatura (Izquierda) y Aumento de la resistencia en el final de la carga (Derecha).	100
Figura 52: Voltaje a circuito abierto $VOC=f(SOC)$ de la batería POWERWALL2.	102
Figura 53: Curva estimadas de $VOC=F(SOC)$ .	102
Figura 54: Perdida de capacidad a lo largo de los ciclos tras cargas/descargas completas. Source: CADEX via Batteryuniversity.com	108
Figura 55: Perdida de capacidad a lo largo de los ciclos tras cargas/descargas completas. Source: [31]	110
Figura 56: Numero de ciclos en función de la profundidad de las descargas. Modelo PVsyst de la batería Powerwall2.	110
Figura 57: Distribución de frecuencia de la DOD al final de las cargas para dos variantes de cálculo.	112
Figura 58: Diagrama del algoritmo de gestión de la batería.	114
Figura 59: Diagrama del algoritmo de gestión energética completando el diagrama de gestión de la batería.	118
Figura 60: Resultados mensuales del algoritmo de gestión energética vs el algoritmo PVsyst.	120
Figura 61: En rojo SOC_mean algo BB y en azul SOC_mean algo PVsyst para los meses de enero y abril.	121
Figura 62: Ejemplo de Display de ahorro de energía de una pantalla. Reduciendo el brillo de los puntos también tendría efecto.	123
Figura 63: Algoritmo de gestión de la demanda energética.	125
Figura 64: Resultado Anual de los distintos planteamientos de gestión y diseño de red aislada en base a VC0.	129
Figura 65: Resultado Anual de los distintos planteamientos de gestión y diseño de red aislada en base a VC1.	130
Figura 66: Resultados Mensuales de los distintos planteamientos de gestión y diseño de red aislada en base a VC0.	131
Figura 67: Resultados mensuales de los distintos planteamientos de gestión y diseño de red aislada en base a VC1.	132
Figura 68: Resultado diarios de 2 planteamientos de gestión y diseño de red aislada en base a VC1. No se presenta VC0 porque la gráfica es difícilmente visible y sería redundante.	133
Figura 69: Resultados horarios del planteamiento SOLAR+EÓLICO+DM para VC1 y SOC escenario SOLAR+EÓLICO+DM VS SOC Solar para VC1. MES DE ENERO.	134
Figura 70: Resultados horarios del planteamiento SOLAR+EÓLICO+DM para VC0 y SOC escenario SOLAR+EÓLICO+DM VS SOC Solar para VC0. MES DE ENERO.	135

---

---

# Lista de tablas

Tabla 1: Frecuencia por década del DHW>4 y DHW>8 de nivel de estrés en el periodo 1985-2013 y frecuencia en los 3 últimos años del DHW>4 y DHW>8. [1] .....	15
Tabla 2: Presentación de tecnologías de monitoreo remoto de los arrecifes de coral por tecnología. [16] .....	26
Tabla 3: Tecnologías de comunicación inalámbrica. [19] .....	33
Tabla 4: lista de coordenadas de la red de sensores planteada. OPOMLI RÉUNION .....	38
Tabla 5: Consumo eléctrico DC ARDUINO MINI PRO .....	40
Tabla 6: Resumen de características técnicas de los sensores seleccionados .....	41
Tabla 7: Consumos energéticos según la función de estado de la boya proyectada .....	44
Tabla 8: Tablas de consumo eléctrico plataforma OPOMLI. ....	52
Tabla 9: Comparativa consumos eléctricos estación OPOMLI vs Vivienda española. ....	55
Tabla 10: Resumen de características climáticas emplazamiento.....	61
Tabla 11: Resumen de las simulaciones de instalación solar realizadas.....	67
Tabla 12: Resultados Mensuales balance energético VC0. ....	81
Tabla 13: Resultados Mensuales balance energético VC1. ....	82
Tabla 14: Estimación de los parámetros Weibull de la serie de viento de fuente meteonorm 7.2 .....	96
Tabla 15: Numero de ciclos de vida como función del DOD para diferentes químicas de baterías.....	109
Tabla 16: Resultados anuales del algoritmo de gestión energética comparado con PVsyst. ....	119
Tabla 17: Resultados anuales del algoritmo de gestión energética con generación solar y eólica vs solar (VC0).....	127
Tabla 18: Resultados anuales del algoritmo de gestión energética con generación eólica y gestión de carga vs solar VC0. ....	128



# Capítulo 1. Introducción

## 1.1 Contexto

Los arrecifes de coral son ecosistemas que se encuentran en regiones tropicales y subtropicales de los océanos. Aunque aproximadamente cubren tan solo el 0.1% de lecho marino, son lugares donde se concentra el 25% de la biodiversidad conocida de especies de peces marinos, sin contabilizar los muchos otros animales marinos [1]. Se puede decir que los arrecifes de coral son los ecosistemas más diversos de los océanos comparables a los bosques húmedos en la tierra. A parte de su importancia innegable en cuanto a biodiversidad, los arrecifes son muy importantes a nivel social, económico y cultural. Existen diversos estudios que se proponen para cuantificar el valor social, económico y cultural de los arrecifes de coral, como por ejemplo el estudio de Deloitte sobre la Gran barrera de coral de Australia [2]. Se estima en \$56 billones el valor social y económico, incluyendo el soporte de 64.000 trabajos y una contribución de \$6.4 billón a la economía australiana, mediante las siguientes actividades:

- Turismo
- Pesca comercial y acuicultura
- Actividades recreativas
- Investigación científica y gestión

Otros estudios estiman el valor social y económico de los arrecifes a escala global a 1 trillón de dólares [3]. Sin embargo, a pesar de su valor, la gran mayoría de los arrecifes de coral al nivel global están bajo una presión tremenda de factores humanos locales, como:

- La escorrentía agrícola e industrial
- El desarrollo de urbanizaciones
- La sobrepesca

Por otro lado, el factor identificado como mayor peligro para los arrecifes de coral por diversos estudios científicos es el calentamiento global de la temperatura del agua y a la acidificación creciente resultante [1] [4]

### 1.2 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es el diseño de una plataforma investigación de la vida marina o “OFFSHORE PLATFORM OF MARINE LIFE INVESTIGATION - OPOMLI” con un foco especial sobre la factibilidad del abastecimiento energético en modo de Microred aislada. Los objetivos específicos son:

- Realizar la definición arquitectónica conceptual de la plataforma, realizando un listado de funciones de servicio y técnicas que debería cumplir.
- Realizar la definición de una red de sensores inalámbricos, definir un diagrama unifilar eléctrico y de comunicación. Realizar una estimación del consumo de los nodos sensores.
- Definir los consumos eléctricos de la plataforma OPOMLI, así como su perfil de consumo horario normal.
- Definir una instalación de generación fotovoltaica respaldada por baterías para satisfacer el consumo definido anteriormente. Realizar el diseño de instalación mediante el programa de diseño fotovoltaico PVsyst.
- En base a los resultados anteriores, realizar una tabla Excel para agregar otras fuentes de energía renovable. En nuestro caso podemos añadir una fuente eólica.
- Realizar en Excel un algoritmo de gestión de cargas/descargas de las baterías permitiendo de computar los resultados de la modelización energética de PVsyst (Microred Solar + baterías) pero agregando la fuente eólica.
- Realizar en Excel un algoritmo de gestión del consumo (*Demand Side Management en inglés*) para aliviar las baterías y disminuir la tasa de apagón de la Microred debido a la falta de energía para suministrar el consumo.
- Realizar un diagrama unifilar sintético de la instalación eléctrica obtenida.

### 1.3 Estructura y etapas del proyecto

A grandes rasgos, el proyecto se estructura de la siguiente manera:

- El Capítulo 2 está dedicado a la investigación sobre los arrecifes de coral, su biología y su estado de salud según la literatura científica disponible. Se reflexiona sobre los hallazgos de esta investigación como puesta en contexto y se redacta una lista de especificaciones para el diseño de la plataforma OPOMLI como de sus funciones.
- El Capítulo 3 presenta la definición arquitectónica de la plataforma realizada mediante programa de diseño 3D SketchUp, así como las funciones principales de la plataforma.
- El Capítulo 4 presenta las redes de sensores inalámbricos con un enfoque a la monitorización marina, y presenta el caso práctico conceptual con la red de sensores inalámbricos para OPOMLI REUNION.
- El Capítulo 5 define los servicios a suministrar, la selección de equipos y el estudio de carga eléctricas de la plataforma. También se presenta el diseño conceptual de la micro red eléctrica aislada, se presenta un diagrama unifilar tipo de la instalación a dimensionar,



así como el dimensionamiento de las instalaciones de producción energética y de almacenamiento con baterías. El dimensionamiento de las instalaciones fotovoltaicas, así como de las baterías se realiza con el programa de diseño fotovoltaico PVsyst.

- El Capítulo 6 presenta la modelización energética de la batería, desde el punto de vista eléctrico: un algoritmo de gestión de energética y un algoritmo de gestión de la demanda. También incluye una modelización energética de la generación eólica. Una vez presentado los modelos y algoritmos, procedemos a validar los modelos y algoritmos realizados mediante Excel comparándolos con los resultados PVsyst para una instalación que no incluye generación eólica y una vez validado, procedemos a presentar los resultados finales de la modelización energética con generación eólica y gestión de la demanda.
- Finalmente, en el Capítulo 7, se presentan las conclusiones del trabajo y se apuntan diversas líneas futuras de investigación.

## Capítulo 2. Sobre los Arrecifes de Coral

Los corales son animales muy antiguos, con muestras de fósiles demostrando su existencia hace más de 400 millones de años, y que han evolucionado desde entonces, en el sentido Darwiniano, creando arrecifes de coral que conocemos en el día de hoy. Los arrecifes de coral son formaciones submarinas hechas por una superposición de esqueletos calcíferos perteneciendo a los organismos que los construyen. Los Corales constructores de arrecifes forman colonias generalmente compuestas por un gran número de entidad llamada pólipos. Los arrecifes de coral bien formados rivalizan en longevidad con los bosques más antiguos del planeta, y se estima que los arrecifes bien formados tienen miles de años de historia. Un dato sorprendente que se suele encontrar sobre los arrecifes de coral es que es la única formación animal visible desde el espacio.



Figura 2: Barrera de Coral y Arrecife de coral de nueva Caledonia visto desde el espacio, NASA.

## 2.1 Anatomía del coral

### 2.1.1 Los pólipos, animales a la base de los arrecifes de coral

Los pólipos son antozoarios, la cual se compone de más de 5000 especies incluyendo a otros animales como los abanicos de mar o las anemonas [5]. Los pólipos pueden vivir de manera individual o en colonias [6]. Un pólipo tiene un cuerpo parecido a una bolsa con un único orificio que le sirve tanto de boca como de ano. Este orificio se encuentra en el centro de un cilindro bordeado por tentáculos venenosos que les ayuda a capturar sus presas. Los pólipos usan los iones de calcio y de carbonato que encuentran en el agua de mar para construir su esqueleto duro de carbonato de calcio (caliza). Este esqueleto protege el cuerpo delicado del pólipo. La mayoría de los pólipos tienen un cuerpo transparente, su esqueleto, como el esqueleto humano es de color blanco. Generalmente, cuando el coral está en buen estado de salud, y más específicamente los corales de aguas tropicales, su color viene de los zooxanthellae (algas microscópicas que viven en sus tejidos. Varios millones de zooxanthellae viven en cada  $\text{cm}^2$  de coral y sus pigmentos son los que vemos cuando atribuimos al coral su atributo de colorido).

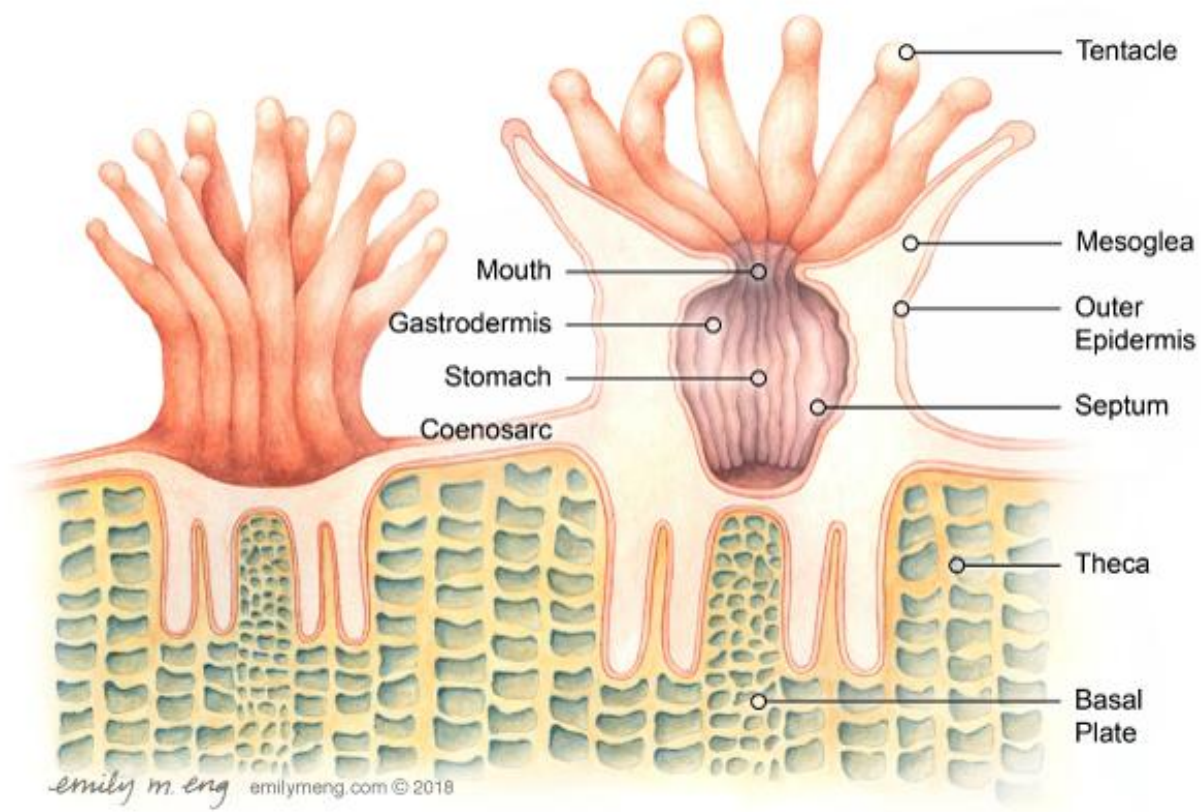


Figura 3: Corte transversal de un pólipo – © Emily Meng para NOAA. [5]

### 2.1.2 Arrecifes de coral de aguas profundas y tropicales.

Existen arrecifes de coral de aguas profundas como de aguas tropicales. Los primeros se alimentan exclusivamente de presas (zooplancton) que capturan gracias a sus tentáculos, y se alimentan durante todo el día debido a los siguientes factores ambientales:

- Viven en aguas profundas hasta 4000m de profundidad y frías (hasta 4°C) [6].
- La luz no llega a la profundidad y por lo tanto no hay posibilidad de simbiosis con algas, porque no habrá fotosíntesis sin luz.
- Las aguas profundas gozan de mayor cantidad de presas y nutrientes que puedan aprovechar los corales.

Existen tantas especies de coral de aguas profundas como de coral tropical, sumando un total de más de 5000 especies conocidas [6]. Sin embargo, los corales de aguas profundas no son tan exuberantes y densos como los tropicales y no suelen vivir en colonias expensas.



Figura 4: Ilustración de coral de aguas profundas colectado durante las campañas de investigación S.A.S le Prince Albert 1er de Mónaco. [6]



Son pescadores quienes encontraron los corales de aguas profundas hace más de 200 años, y les consideraba como una molestia ya que dañaba a sus redes. El interés de los científicos se despertó mucho después, durante el siglo XX y XXI, debido a la diversidad que se podía encontrar en su entorno. De hecho, la primera conferencia sobre los corales de profundidad ocurrió en los años 2000, en ese momento, los científicos acababan de descubrir la amplitud de los daños irreversibles de la pesca de fondo sobre estos corales, que crecen muy lentamente debido a la inercia de los fondos marinos profundos. Algunos como el “*Leipathes*” crecen solamente unos 10  $\mu\text{m}$  al año, y se encontraron algunos especímenes de más de 4000 años. [6]

Por otro lado, los arrecifes de coral de aguas tropicales, que se ubican en entornos menos ricos en presas y nutrientes, han encontrado una manera eficaz de acortar la cadena alimentaria para prosperar. Albergan en sus células digestivas algunas microscópicas denominadas zooxanthellae, con las cuales vive una relación simbiótica. Las microalgas viven en la seguridad de las células del pólipo, donde realicen la fotosíntesis, cuyos productos constituyen un alimento complementario a los pólipos, pudiendo llegar a proporcionar más del 80% de sus necesidades energéticas. [7]

La relación de simbiosis entre los pólipos y zooxanthellae se traduce por un aporte de dióxido de carbono y agua de por parte del pólipo como bioproductos de su respiración celular, los cuales necesita la zooxanthellae para llevar a cabo la fotosíntesis. Los bioproductos de la fotosíntesis son glucosa, glicerol y aminoácidos. Estos bioproductos de la fotosíntesis son utilizados por el pólipo para la respiración celular y como carburante para su crecimiento transformándolos en proteínas, lípidos y carbohidratos. [8]

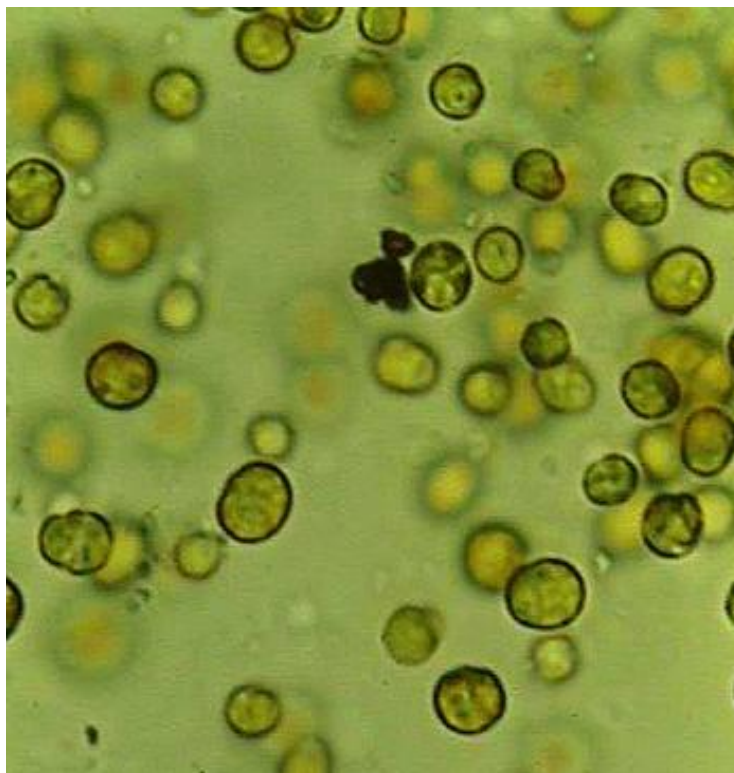


Figura 5: Fotografía de zooxanthellae. © Scott Santos, State University of New York at Buffalo. [5]

Esta simbiosis, como comentado en el párrafo anterior es la gran fuerza y la razón del éxito de los arrecifes de coral. Los pólipos suelen ser nocturnos para protegerse de los ataques de otros animales diurnos y la cantidad de presas es mayor por la noche. Por lo tanto, despliegan sus tentáculos durante la noche para complementar su alimentación.



Figura 6: Arrecifes de coral tropical en perfecto estado de salud. Fidji. Foto de Roberto Rinaldi. ©. [7]

A continuación, y debido al enfoque de este trabajo, solo trataremos de los arrecifes de coral tropical y por lo tanto cuando nos referimos a arrecifes de coral, siempre se tratará de coral tropical.



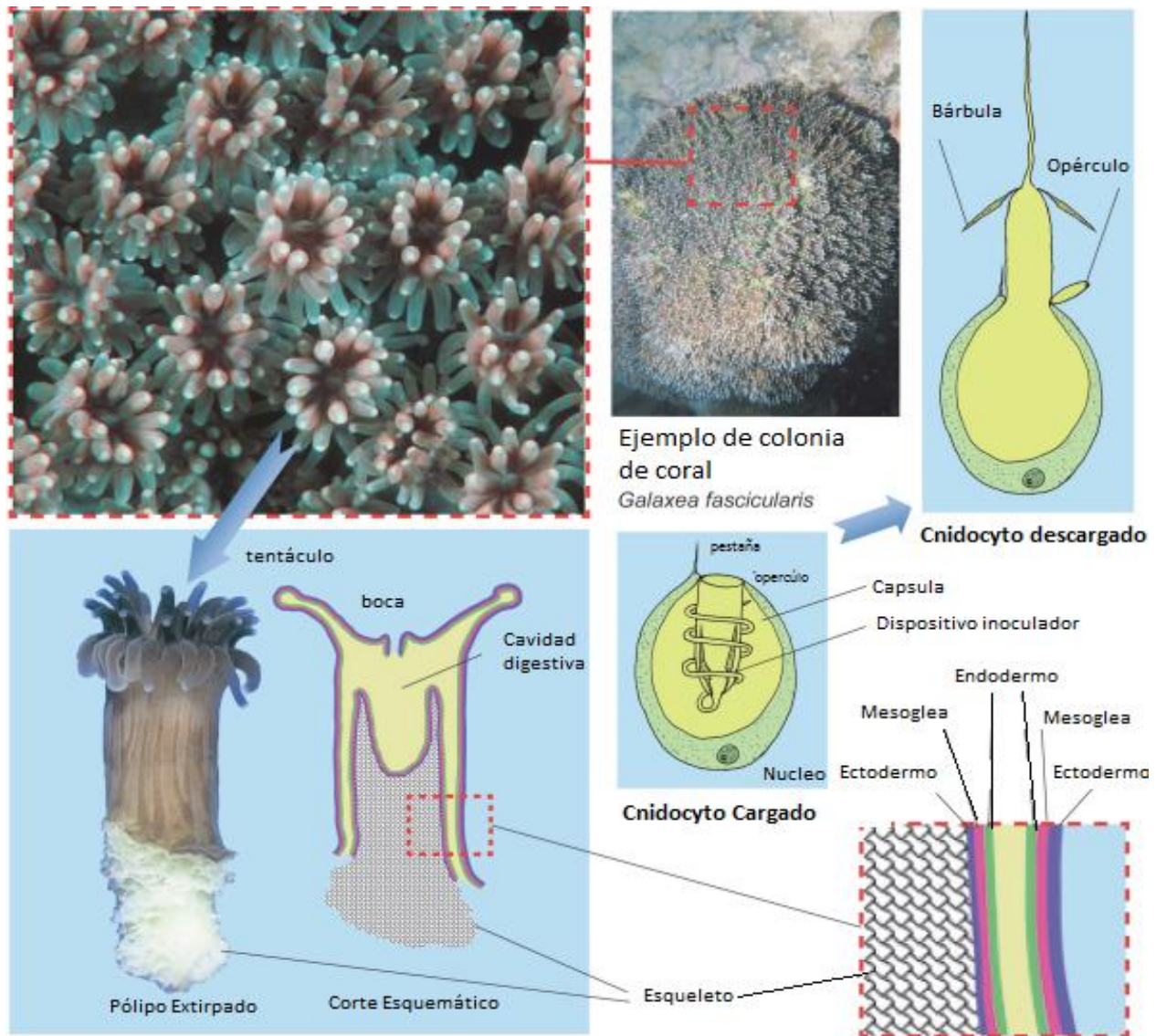


Figura 7: Fotografías y esquemas representando la arquitectura de una colonia de pólipos. Los cnidocitos son las células del tentáculo que despliegan una pestaña venenosa cuando notan la presencia de una presa. Ilustración del instituto oceanográfico de Mónaco, traducido al castellano por el autor de este documento. [7]

## 2.2 Medio ambiente

Debido a su relación simbiótica con la zooxanthellae, el coral busca un medio ambiente como si fuera una planta. Las algas necesitan luz para hacer la fotosíntesis y por lo tanto los arrecifes de coral tropical se encuentran en aguas poco profundas, limpias, es decir con poca turbiedad y pocas partículas en suspensión (poca productividad). Este hecho lleva a un paradigma [8]: Los arrecifes de coral tropical necesitan para vivir aguas limpias y con pocos nutrientes, sin embargo, son de las aguas más productivas y biodiversas que se pueda encontrar. A continuación, listamos las condiciones idóneas donde pueden prosperar los arrecifes de coral:

- Luz: Los arrecifes de coral tropical necesitan luz del sol. La relación simbiótica que tiene con la zooxanthellae lo exige. Como la luz esta atenuada muy rápidamente con respecto a la profundidad, pocos corales tropicales que tienen zooxanthellae se desarrollan a profundidades superior a 50m.

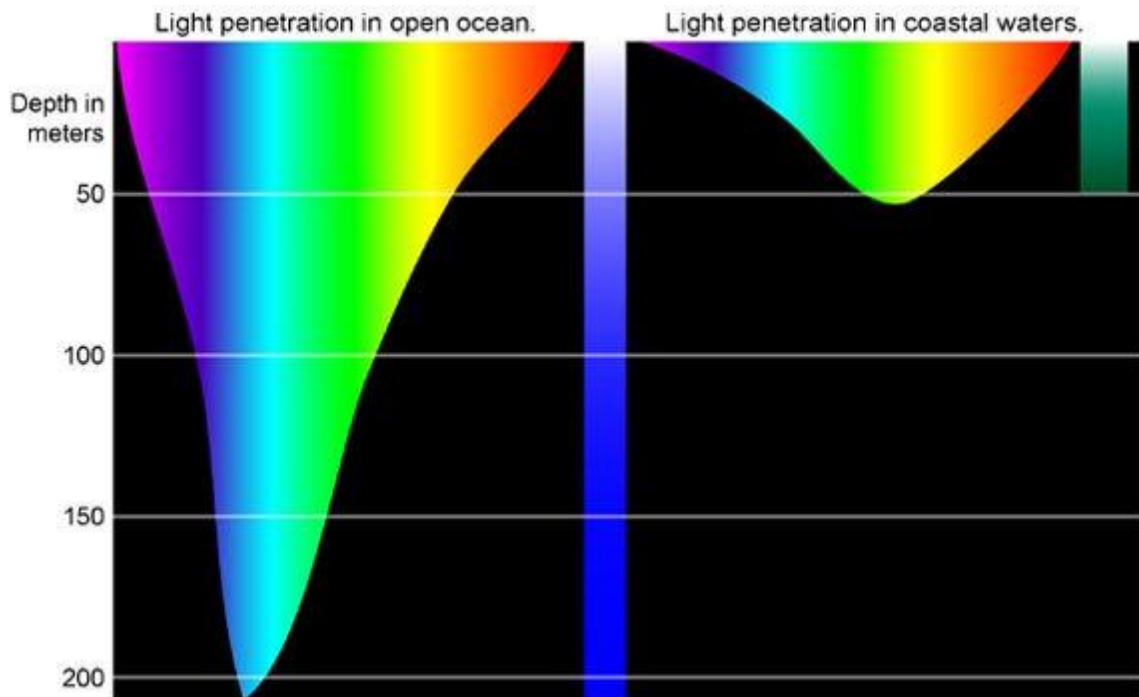


Figura 8: Penetración de luz según su longitud de onda. [5]

- Agua salada: El coral necesita agua salada para sobrevivir con cierta concentración de sal. Por eso los corales no viven ni en ríos, ni en zonas de desembocadura de ríos.
- Agua limpia: El coral vive en aguas limpias, donde hay pocos sedimentos y pláctones que pudieran tapar la luz, reduciendo la cantidad de luz llegando a los zooxanthellae.
- Aguas tropicales: Los pólipos constructores de arrecifes necesitan aguas cálidas para sobre vivir. Generalmente requieren aguas de entre 20-32°C, pero veremos en los siguientes apartados que son muy sensibles a los cambios de calor.

Debido a las condiciones anteriores, los arrecifes de coral se reparten de la siguiente manera geográficamente:



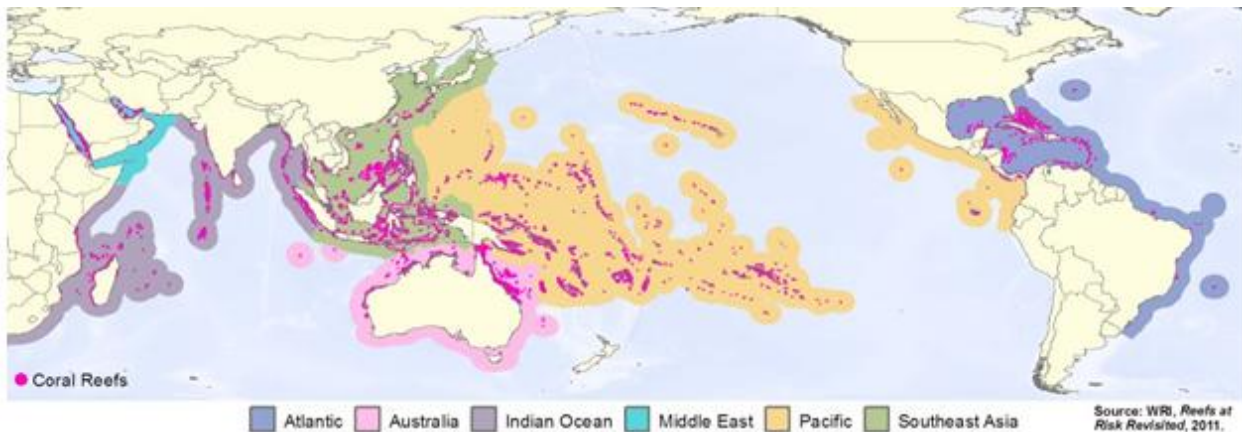


Figura 9: Repartición geográfica de los mayores arrecifes de coral. [9]

La geología evidentemente tiene un papel importante en el desarrollo a lo largo de los milenios de historia de los arrecifes de coral y en la ubicación geográfica de aquellos que necesitan condiciones idóneas para desarrollarse. Charles Darwin ya lo había identificado durante sus viajes y describió su teoría de formación de las islas volcánicas y de los Atolones en su monografía datada de "1842: La estructura y distribución de los arrecifes de coral."

Darwin predijo que, debajo de cada laguna se encontraría una base de roca madre, que representa los restos del volcán original. Perforaciones posteriores demostraron que esta teoría era correcta. La teoría de Darwin se basó en su entendimiento de que, los pólipos de coral crecen en las aguas marinas limpias y agitadas de los trópicos, pero que sólo pueden vivir dentro de un rango de profundidad limitado, comenzando justo debajo del nivel de la marea baja. Cuando el nivel de la tierra subyacente lo permite, los corales crecen alrededor de la costa para formar lo que llamó arrecifes bordantes (en inglés: *fringing reefs*), los cuales, con el tiempo, pueden crecer desde la costa hacia afuera para convertirse en un arrecife de barrera.

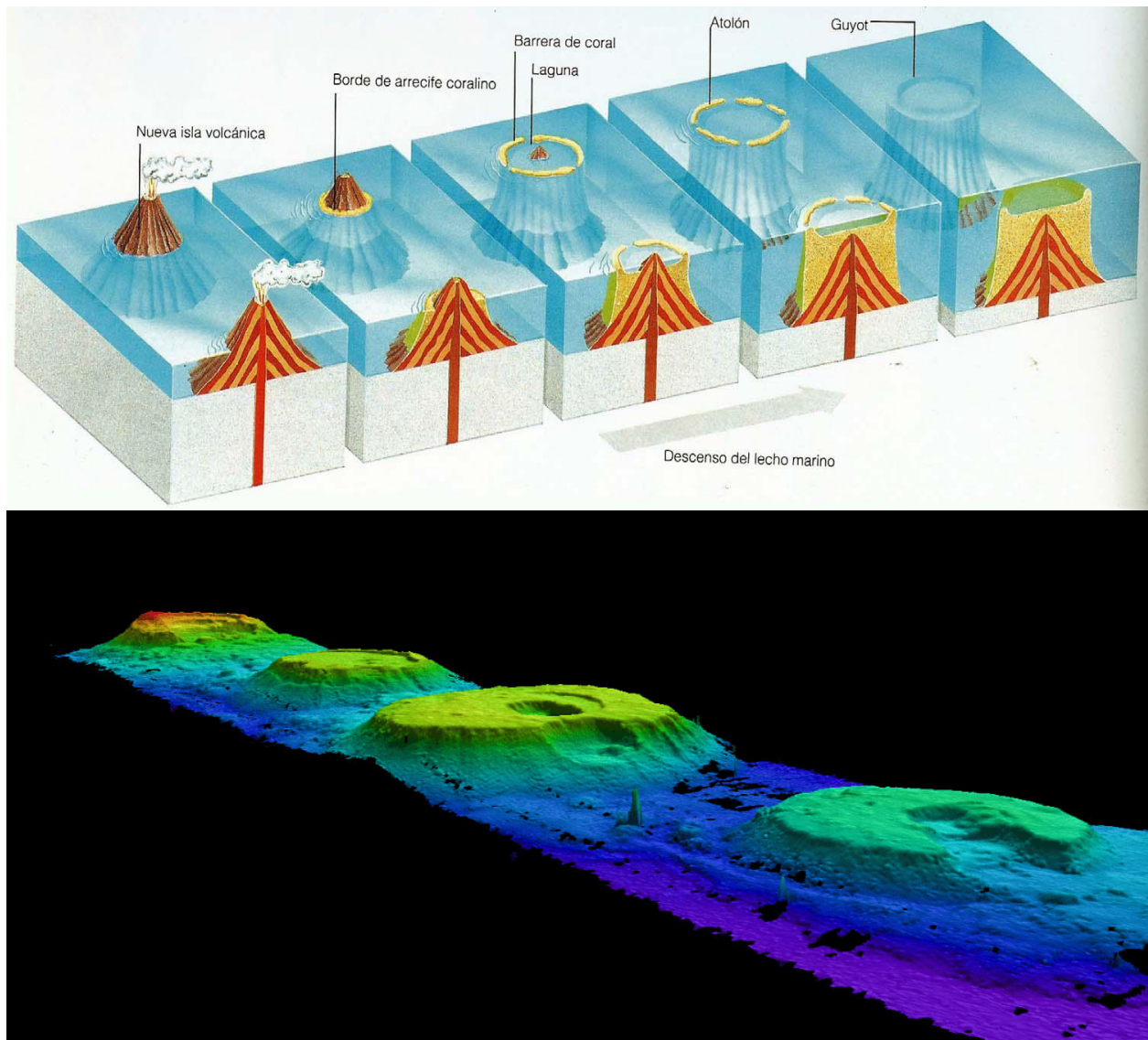


Figura 10: Ciclo geológico de una isla volcánica desde el nacimiento de la isla hasta el hundimiento del atolón formando un guyot [10]

### 2.3 Estrés perjudicial a los arrecifes de coral

La salud biológica y los procesos naturales que giran alrededor de los arrecifes de coral son muy importantes para la biodiversidad marina, así como para el humano. Si en el siglo XXI, el valor económico es el valor de más importancia para la sociedad humana, la introducción de este trabajo ha mostrado el valor de los arrecifes de coral evaluado por fuentes independientes. [3]

Por mi parte personal, hay mucho más en juego que un trillón de dólares, y los bucles de regulación de la vida marina en los cuales los arrecifes de coral juegan un papel fundamental y que todavía funcionan no han entregado sus secretos. Todas las fuentes bibliográficas que hemos encontrado sobre el declino de los arrecifes de coral y de la vida marina a sus alrededores apuntan que no existen ecosistemas costales

que no hayan sido perturbado y dañados por la actividad humana. Las perturbaciones se pueden categorizar como las siguientes:

1. La utilización negligente de la Tierra
2. La pesca
3. La alteración del clima

El declive de los arrecifes de coral durante los 20-30 años son atribuibles a una cantidad impresionante de factores, evidentemente muchos de ellos tienen relaciones de interdependencia, y a continuación listaremos los que más resaltan en la bibliografía y que entran en los 3 puntos mencionados arriba a excepción de las enfermedades (aunque de manera indirecta...):

- El Blanqueamiento del Coral [11]
- Enfermedades del coral [12]
- Las tormentas tropicales y los huracanes [13]
- La sobrepesca [8]
- La sedimentación debido a actividades humanas llegando con los ríos [11]
- La nitrificación de las aguas llegando al mar [14]
- El cambio climático [15]

Según, James A. Goodman et Al. [16], la severa y rápida degradación de los arrecifes de coral que ocurre en la actualidad da lugar a una necesidad mayor de monitorización de los arrecifes de coral. A continuación, transcribiremos los hallazgos más destacables de James A. Goodman et Al. [16] quienes se enfocan al nivel local sobre las costas de Florida tienen unas de las costas más estudiadas del mundo: Se han trasladado episodios de blanqueamiento severo en las costas de Florida en 1987, 1997-99, 2005-06, 2010, 2013 y 2014 (El libro ha sido publicado en 2014). Según una multitud de estudios realizados el blanqueamiento se debe principalmente a un aumento de las temperaturas y en 2005 se monitorizó el récord de temperaturas altas del mar en las Islas Vírgenes US causando más del 90% del blanqueamiento en los parques naturales marinos.

### 2.4 Blanqueamiento del coral

El blanqueamiento del coral, o "*coral bleaching*" en inglés, se debe a la respuesta del coral en situación de estrés prolongado, el cual rechaza la zooxanthellae, dejando visible su esqueleto blanco a través de su cuerpo transparente. El coral blanqueado sigue vivo, aunque el blanqueamiento suele tener efectos muy negativos (recordamos que sin la zooxanthellae, el coral pierde hasta el 80% de su fuente de energía) [7], como un crecimiento reducido y una falta de reproducción, y en caso de que el blanqueamiento este prolongado (varias semanas sin volver a tener una relación simbiótica con la zooxanthellae), es probable que el coral muera y en este caso se observa la falta de cuerpo transparente alrededor del esqueleto. El informe de Heron et Al. [1] presenta como el primer estudio recopilatorio sobre los efectos del cambio climático en los arrecifes de coral reconocidos como Patrimonio mundial de la UNESCO. Identifican que

una subida de 1-2°C sobre la temperatura máxima a los cuales los corales de la zona estén acostumbrados puede resultar en un episodio de blanqueamiento. Sin embargo, notar que la tolerancia a la subida de temperaturas es específica a la zona estudiada y varía entre las especies de coral. Sin embargo, debido al ritmo descabellado de las subidas de temperaturas al nivel del globo, han identificado episodios de blanqueamiento de coral debido a subidas de temperaturas del agua y en particular en consecuencia de los fenómenos EL Niño y la Niña en 1998-1999, 2010 (El Niño), 2014, 2015-2016 (El Niño) y 2017. Evidentemente los años donde otros estreses locales se han añadido a los estreses de calor, como los que hemos presentado en el subcapítulo anterior, pues el blanqueamiento es mayor.

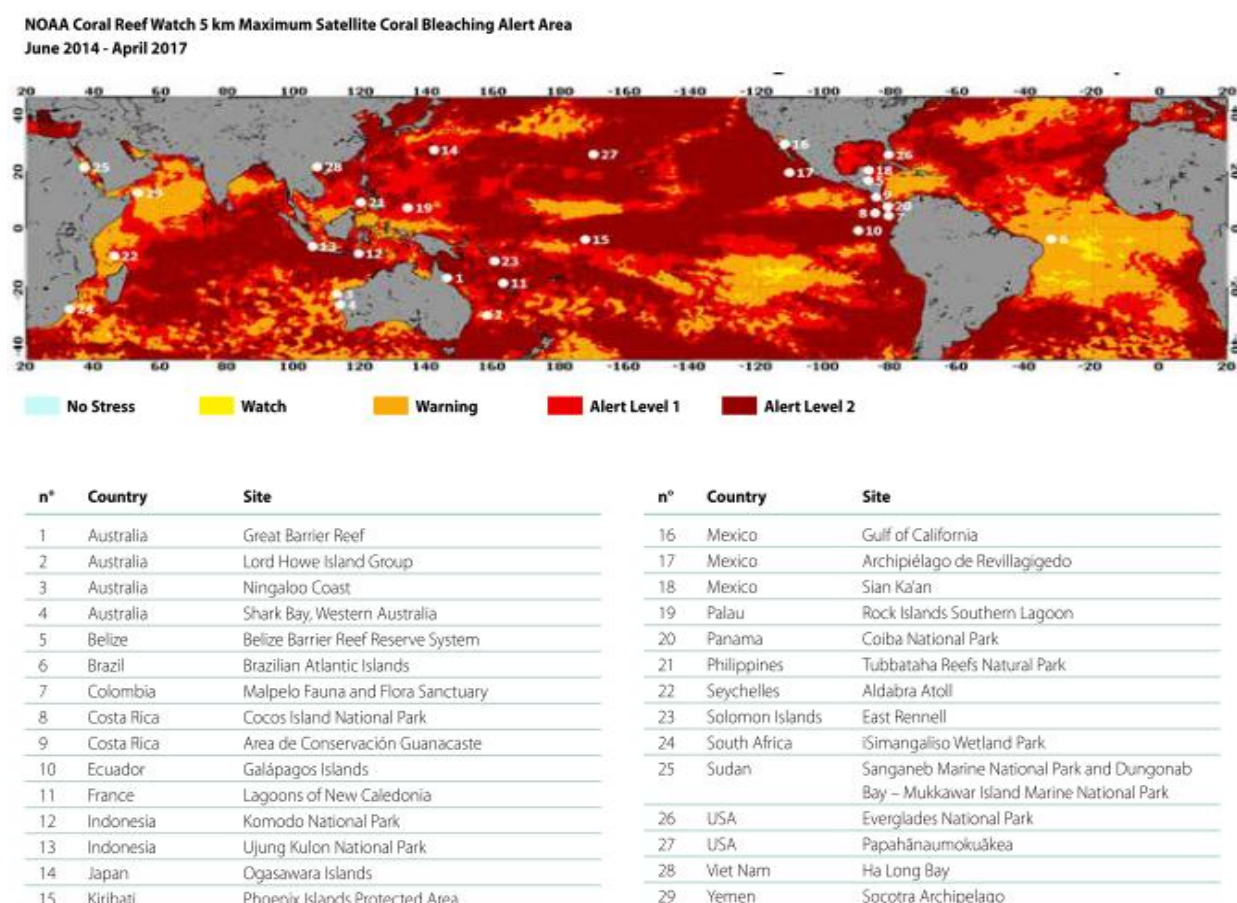


Figura 11: Nivel de alerta máxima emitido por NOAA en 2014 sobre el blanqueamiento debido a una subida prolongada de temperaturas del mar. Más de 70% de los arrecifes de coral al nivel global han sido expuesto a niveles de estrés propicio al blanqueamiento. [1]

El estudio [1] muestra que la ocurrencia de blanqueamiento del coral debido a la exposición a temperaturas sobre el nivel máximo que suelen soportar el coral (crean un índice regional para tener en cuenta la variación de esta temperatura según la localidad del arrecife), se puede medir en  $DHW\ index = \Delta T \cdot Semanas$ . Categorizan dos DHW índices importantes, cuando  $DHW\ index \geq 4\ ^\circ C \cdot semana$  es el nivel de estrés debido al calor por el cual existe blanqueamiento, y cuando  $DHW\ index \geq 8\ ^\circ C \cdot semana$ , es el nivel de estrés debido al calor por el cual el blanqueamiento es severo. Más detalles están disponibles en el estudio original. A continuación, presentamos la tabla resumen del estudio basado



en mediciones históricas entre 1985-2013 y entre 2013-2017. Se ve claramente, sin proyección en el futuro que la mayoría de los arrecifes de coral del Patrimonio de la UNESCO ha sufrido entre 2014 y 2017 un blanqueamiento severo.

Reef-containing World Heritage site	Historical Stress		Recent Stress	
	(a) #Bleaching stress per decade (1985-2013)	(b) #Severe stress per decade (1985-2013)	(c) #Bleaching stress in 3 years (mid2014-mid2017)	(d) #Severe stress in 3 years (mid2014-mid2017)
Great Barrier Reef	1,7	0,0	3	2
Lord Howe Island Group	2,1	1,0	1	0
Ningaloo Coast	3,1	2,1	2	0
Shark Bay, Western Australia	5,9	2,8	3	3
Belize Barrier Reef Reserve System	1,7	0,0	3	1
Brazilian Atlantic Islands	0,3	0,3	0	0
Malpelo Fauna and Flora Sanctuary	2,1	1,0	2	2
Cocos Island National Park	0,3	0,3	3	1
Area de Conservación Guanacaste	0,3	0,0	1	0
Galápagos Islands	4,5	3,4	3	3
Lagoons of New Caledonia	2,8	0,0	3	2
Komodo National Park	2,4	0,3	3	3
Ujung Kulon National Park	0,0	0,0	2	2
Ogasawara Islands	3,4	1,0	1	1
Phoenix Islands Protected Area	4,1	2,8	3	3
Gulf of California	2,8	0,3	3	2
Archipiélago de Revillagigedo	2,8	1,0	3	3
Sian Ka'an	3,1	0,0	3	3
Rock Islands Southern Lagoon	0,7	0,3	1	0
Coiba National Park	1,0	0,7	2	2
Tubbataha Reefs Natural Park	0,3	0,0	2	1
Aldabra Atoll	0,3	0,0	1	0
East Rennell	1,4	0,0	3	1
iSimangaliso Wetland Park	0,0	0,0	0	0
Sanganeb Marine National Park and Dugonab Bay – Mukkawar Island Marine National Park	1,4	0,0	0	0
Everglades National Park	2,4	0,7	3	3
Papahānaumokuākea	0,7	0,0	2	2
Ha Long Bay	1,4	0,0	3	2
Socotra Archipelago	0,0	0,0	0	0

Bleaching stress threshold defined as DHW of 4 °C-weeks; severe bleaching stress threshold defined as DHW of 8 °C-weeks.

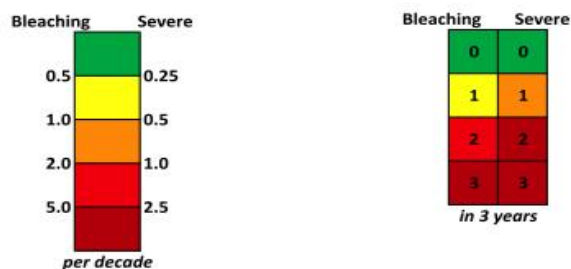


Tabla 1: Frecuencia por década del DHW>4 y DHW>8 de nivel de estrés en el periodo 1985-2013 y frecuencia en los 3 últimos años del DHW>4 y DHW>8. [1]

## 2.5 Conclusión capítulo 2

Los arrecifes de coral están en peligro de extinción debido a las actividades humanas y son especialmente sensibles al cambio climático. La relación entre el calentamiento global y los episodios de blanqueamiento de coral han sido puestos en evidencia por muchos estudios científicos [8] [1] [15] gracias a la remarcable combinación de avances tecnológicos en las áreas aeroespacial y metrología (con los satélites) para la medición, digital para el proceso de datos y realización de simulaciones, y avances científicos. Hoy en día, las campañas de medición por satélites combinados con investigación científica en sitio a puesto en evidencia los eventos dramáticos de blanqueamiento severo en más del 50% de los arrecifes del mundo entre 1985-2013 y el 72% de estos arrecifes sufrieron un blanqueamiento severo tras un estrés térmico ( $DHW\ index \geq 4\ ^\circ C.semana$ ) solo en los últimos 3 años. La tabla anterior refleja la criticidad de los hallazgos del estudio agregado [1].

Además de tener datos sobre lo que ya ocurrió, el estudio presenta los resultados de 2 proyecciones a futuro de los eventos debidos al bleaching gracias a simulaciones que cruzan los modelos climáticos RCP4.5 y RCP 8.5 IPCC [17] con los modelos de blanqueamiento en función de eventos meteorológicos.

RCP8.5 corresponde a un escenario climático en el cual las emisiones de gas de efecto invernadero seguirán aumentando a lo largo del siglo XXI y RCP4.5 a un escenario en el cual las emisiones pasan por un pico en 2040 y luego declinan, aunque las temperaturas seguirán subiendo después del pico debido a la gran inercia térmica del sistema climático. Las simulaciones climáticas resultan en un aumento de la temperatura promedio global de 4.3°C para RCP8.5 y de 2.4°C para RCP4.5 en 2100 relativo a 1850-1900, a comparar con el objetivo del acuerdo de París de 1.5°C en 2100. Según el estudio [1], los escenarios climáticos simulados en el modelo de “bleaching stress” resultan en un aumento de la frecuencia de los eventos de “bleaching” actuales (columna 2 de la tabla 1 para 1985-2013) a 2.0 eventos de bleaching severo por década en 2040 para el 89% de los arrecifes “UNESCO world heritage” para RCP8.5. Los resultados muestran que el escenario RCP4.5 sea mejor en llegando a 2.0 eventos de bleaching severo en 2055 para el 79% de los arrecifes. Sin embargo, en todos los casos, el ritmo actual de los eventos de bleaching severo y a fortiori los que vendrán en el futuro son insostenibles para la conservación de los arrecifes de coral. [1] concluye que las subidas de temperaturas del mar en los trópicos debido al calentamiento global van a superar la habilidad a los arrecifes de coral a sobrevivir dentro de 1-3 décadas, sin considerar los efectos agravantes de otras fuentes de estrés para el coral (huracanes, enfermedades...).

Hoy en día, los científicos y biólogos han evaluado que estamos en una era de extinción masiva (la sexta) de vida del planeta [18], y en mi opinión es hora de empezar un nuevo movimiento en la ingeniería, la “ingeniería regenerativa” para proteger y acompañar los especies que sufren las consecuencias del cambio climático, incluyendo también nuestra especie.

## Capítulo 3. Definición arquitectónico conceptual

### 3.1 Filosofía del diseño de la plataforma y objetivos

Como fue comentado antes, el objetivo de la plataforma es participar en el desarrollo de las investigaciones científicas sobre los arrecifes de coral, con el objetivo de participar activamente en su protección.

Después de investigar detenidamente artículos científicos sobre el estado de los arrecifes de coral, nos hemos dado cuenta de la urgencia de actuación para su conservación, pero también de la necesidad de colaboración dentro de la comunidad científica para hallar soluciones y compartir sus hallazgos tanto en la investigación biológica fundamental como en monitorización de bajo coste de este ambiente.

Por lo tanto, nos parece muy importante que el desarrollo de la plataforma OPOMLI sea tanto un medio para facilitar el desarrollo científico sobre la conservación del coral como para el desarrollo de sensores marinos de bajo coste, como veremos a continuación en los siguientes apartados de esta memoria. Entendemos también la complejidad que implica no perjudicar el medio ambiente por la instalación de la plataforma, lo cual implica a grandes rasgos que el diseño debe tener en cuenta:

- Limitar el impacto ambiental del sistema de anclaje.
- Limitar el impacto ambiental de la estructura flotante.
- Limitar el impacto ambiental de los consumos energéticos de la plataforma mediante instalaciones de producción y gestión de energía renovable.
- Limitar el impacto ambiental de las instalaciones sanitarias sobre la fauna local.

Estando en una fase inicial del proyecto, hemos establecido que sería conveniente investigar la viabilidad de una plataforma flotante sobre una estructura metálica, flotante, de tamaño consecuente para realizar un gran número de funciones de servicio de la plataforma y evaluar la factibilidad de esta plataforma considerando el abastecimiento energético proviniendo de fuentes renovables. A continuación, se presentan algunas de las funciones de servicio fundamentales:

**FUNCIONES DE SERVICIO:**

1. *Proporcionar una ubicación idónea fija para el monitoreo constante del arrecife en zonas como reservas marinas.*
2. *Permitir el seguimiento local de la fauna y del estado de los corales para la investigación científica mediante redes de sensores de constantes físicas varias (T, pH, conductividad, turbiedad...)*
3. *Proporcionar un servicio de control de caza furtiva en zonas de protección marina.*
4. *Obtención de datos diarios a escala del arrecife a proteger según la red de sensores presentes.*
5. *Proporcionar una base local para las medidas de control y/o reparación del arrecife (ejemplo Aquarium con pruebas de esquejes de coral resistentes al calor,*
6. *Servir de plataforma de investigación de funcionamiento de redes de sensores de bajo consumo y bajo coste aptos para el ambiente marino.*
7. *Proporcionar una estación de carga/servicio de sensores autónomos en prueba en la ubicación de la plataforma, así como una base cercana para las operaciones de mantenimiento de la red de sensores.*
8. *Proporcionar los servicios necesarios para una plataforma de investigación (servicios eléctricos para Aquarium, red de sensores, microscopios electrónicos...)*
9. *Proporcionar una estación de comunicación mediante radio y/o satélite según el caso, aunque dependiendo de los emplazamientos y red de sensores asociadas, la plataforma no es necesaria para que la red inalámbrica de sensores cumpla su función.*
10. *Permitir físicamente el medio de una granja de coral, reproduciendo pequeños corales mediante una serie de cuerdas sobre las cuales se disponen esquejes de diferentes especies (tanto las que mejor soportan el "bleaching" y las que están en peligro de extinción en la zona local)*

El objetivo en sí de este trabajo es la investigación del abastecimiento de consumos eléctricos de la plataforma mediante medios de generación de energía renovable, y por lo tanto nos enfocaremos en la definición de los equipos eléctricos y los dispositivos de generación de energía renovable para que la plataforma este viable.

### 3.2 Filosofía del diseño arquitectónico

Proponemos diseñar una plataforma de investigación marina en la cercanía de los arrecifes de coral de varios emplazamientos (por definir). Por lo tanto, el emplazamiento elegido estará en la cercanía directa de los arrecifes sin que la estructura o su anclaje interfiera con los arrecifes.

Prevemos dos modos de estructuras, que desarrollará Gabriel de Guglielmo en su proyecto de Trabajo Final de Máster, un tipo de estructura será de celosía, con su sistema de flotación, anclada al lecho marino de manera que restrinja el impacto ambiental.

Es de importancia principal destacar que, para maximizar la generación solar fotovoltaica, el sistema de anclaje de la plataforma asegure una orientación Norte/Sur fija de la plataforma para el correcto funcionamiento de los seguidores solares de un eje. Si se elige al final una opción sin seguidores, tener



una orientación Norte/sur fija (azimuth = 0° o 180° según el hemisferio de la ubicación del proyecto) permite optimizar la generación con respecto a este Angulo.

Para utilizar, o quizás reutilizar materiales que aguantan el ambiente marino, y visto su gran disponibilidad al nivel mundial, creemos que sería buena idea utilizar contenedores marinos para la construcción de las casetas. También nos parece importante que haya mucha superficie de zampeado al nivel del suelo, para la estabilidad de la plataforma, la comodidad de los investigadores y visitantes, así como para poder ubicar pérgolas solares fotovoltaicas de gran tamaño, y crear un espacio de trabajo / recreación debajo de este último.

Los contenedores marinos, que constituirán la base de la plataforma deberán poder albergar:

- Una sala técnica donde se encontrará el cuadro eléctrico y los equipos energéticos, y la monitorización de los sensores. Además, puede servir de almacén.
- Una cocina de oficina de pequeño tamaño.
- Un lavabo seco o un lavabo estándar con tanque séptico totalmente aislado sin desechos en el medio ambiente.
- Un laboratorio con elementos básicos para la investigación marina y sobre todo con Aquarium para realizar esquejes de coral y seguir su crecimiento controlando su entorno, así como la posible crianza de peces herbívoros para luchar contra el desarrollo de algas macroscópicas.
- Una sala almacén de botellas de buceadores y secado de neoprenos.

El espacio exterior, de la plataforma es un espacio dedicado a actividades recreativas como de trabajo, que pueda servir para reuniones o recibir visitantes, y poder al agregar más Aquarium en el caso de que fuera requerido.

### 3.3 Funciones técnicas de la plataforma OPOMLI

Debido a la instalación marina de la plataforma, se tiene que considerar al nivel conceptual varias funciones restrictivas que debe de tener la plataforma para su correcta implementación en el medio ambiente.

Al nivel conceptual, Las funciones técnicas que tiene que cumplir la plataforma de investigación OPOMLI son las siguientes:

#### FUNCIONES TÉCNICAS

1. *Funciones estructurales, soportar el oleaje y vientos de huracanes. según el riesgo, incluyendo el hecho de que, en caso de avisos de perturbación atmosférica tipo huracán, la plataforma se pueda remolcar hasta una zona más protegida como sería un puerto natural o comercial. En otros términos, la plataforma debe de ser robusta.*
2. *Resistir a la corrosión del ambiente marino sin contaminar el entorno.*
3. *Ser autónomo al nivel de consumo energético.*

4. *No contaminar al medio ambiente, no se permiten emisiones de aguas sucias, y se preverá una instalación aislada sanitaria con recogida de desechos tratados en tierra.*
5. *Seguir de manera viable en su posición (flotabilidad – estabilidad – robustez contra los esfuerzos exteriores marinos y amortiguación mediante contra pesos quizás)*
6. *Seguir en la orientación Norte/Sur óptima para la generación solar fotovoltaica en un emplazamiento sin sombras cercanas.*
7. *Asegurar la comunicación de las instalaciones con tierra, mediante comunicación WIMAX, GSM o satélite (según la accesibilidad) y accesible desde internet para la monitorización.*
8. *Asegurar la seguridad de los visitantes de la plataforma.*
9. *La plataforma debe de ser evolutiva según las necesidades especiales de la comunidad científica y/o de ingeniería.*

### 3.4 Presentación de la plataforma conceptual

Basándose en las funciones anteriormente descritas, hemos desarrollado un modelizado 3D mediante el programa SketchUP de la plataforma.

Tenemos que decir que este diseño es conceptual, en efecto es el primer diseño de la plataforma desarrollado por el autor de este documento. Es evidente que, en base a los hallazgos realizados durante el estudio estructural, se deberá de optimizar ante la creación de un eventual prototipo.

A continuación, se presenta el modelo 3D realizado en SketchUp, con varias vistas. Notar que el diseño arquitectónico siendo anterior al diseño de instalación eléctrica, ni el número de paneles (2x1m) fotovoltaicos, ni el número de mini-eólicas de la modelización 3D reflejan los resultados del dimensionamiento energético. Sin embargo, con un poco menos del doble de la superficie de paneles, llegaríamos al diseño obtenido en los apartados siguientes.

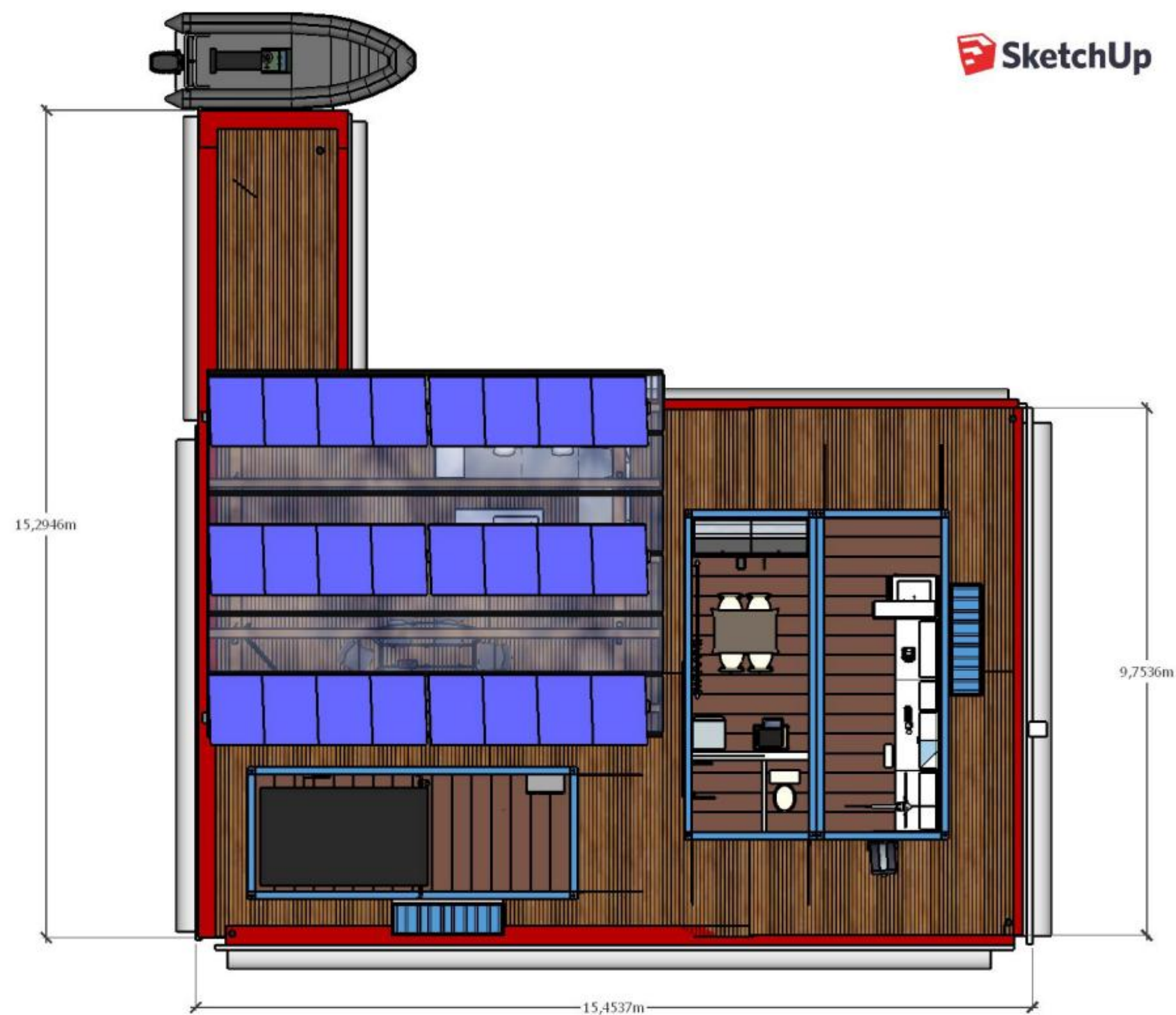
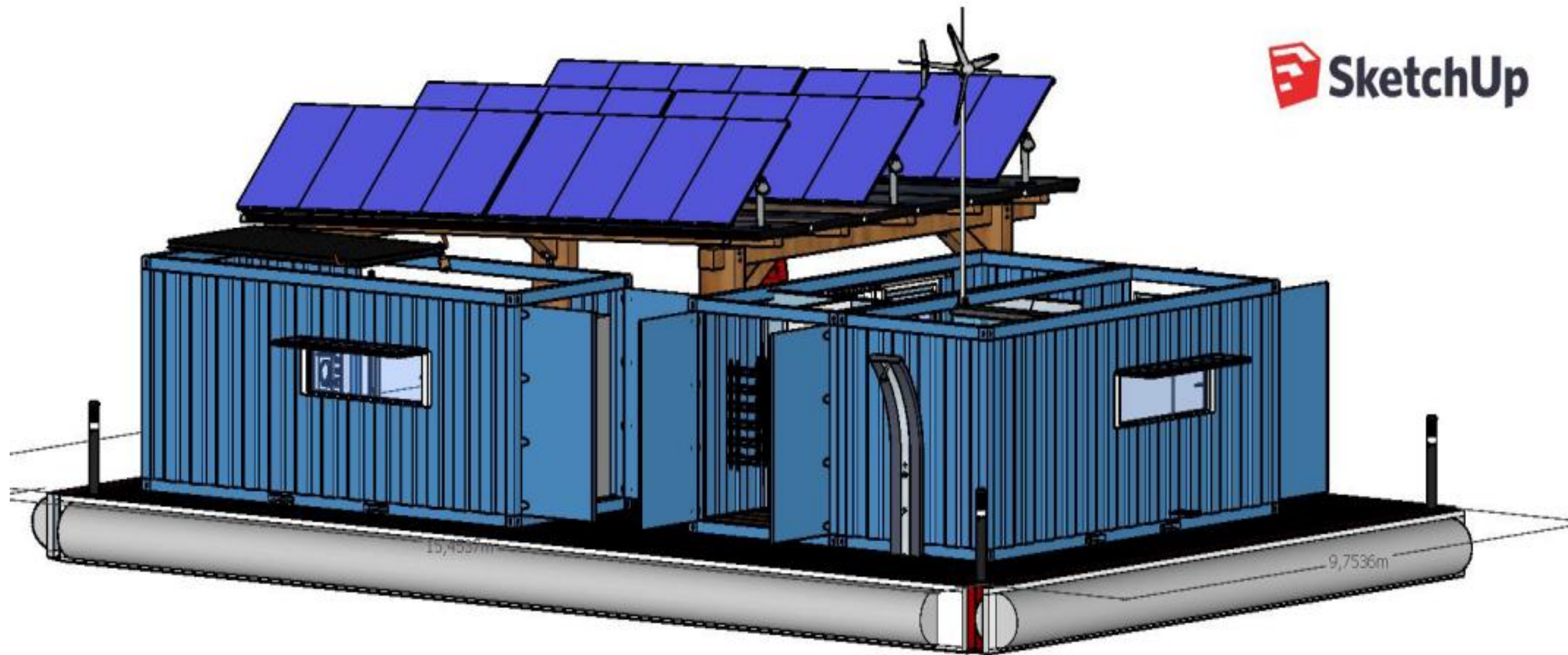


Figura 12: Vista en planta del diseño arquitectónico de la plataforma OPOMLI.





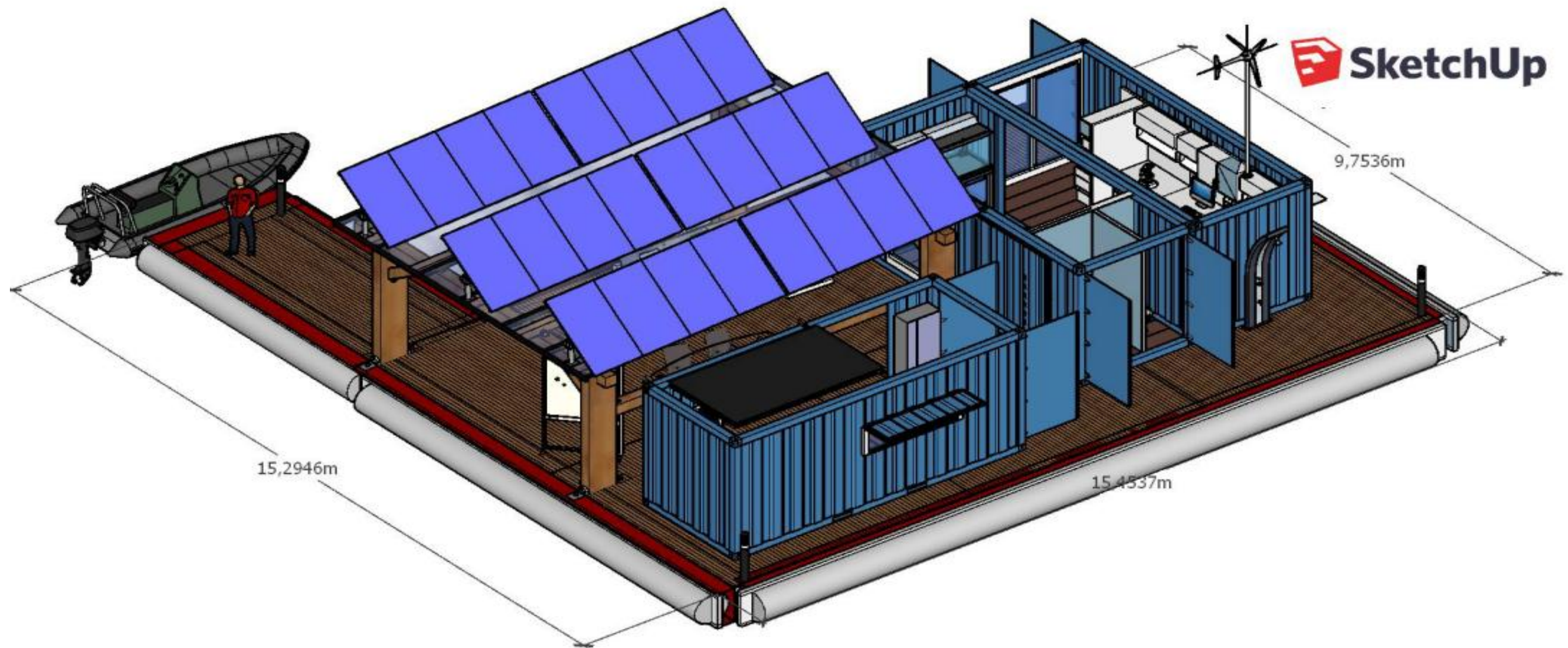


Figura 13: Otras Vistas 3D del diseño arquitectónico conceptual de la plataforma OPOMLI

# Capítulo 4. Instalaciones de monitorización del arrecife de coral

## 4.1 Glosario de escalas utilizadas

Para que se entienda correctamente el capítulo siguiente, quisiéramos definir lo que entendemos por las escalas que vamos a utilizar en nuestro vocabulario. Existen una multitud de escalas por las cuales cuantificamos las dimensiones de fenómenos físicos. Todos sabemos que la ciencia actual investiga el mundo del ínfimamente pequeño como física cuántica y el mundo del ínfimamente grande con el estudio de la astrofísica, los cuales representan dimensiones en inferiores a  $10^{-12}$  hasta dimensiones superiores a  $10^{12}$ . La definición de las escalas en un estudio es fundamental pues en cada disciplina hay que comparar las dimensiones comunes que se usan en el ámbito de los estudios. Por ejemplo, cuando hablemos solo de astrofísica la distancia tierra-luna es muy pequeña comparada con las dimensiones de nuestra galaxia, y se podría cualificar en lenguaje común que la distancia tierra-luna es microscópica en el cosmos. En el mundo del infinitamente pequeño, el físico cuántico se refiere a microscópico comentando partículas subatómicas y por lo tanto no tiene nada que ver el microscópico en una disciplina u otra. De igual modo macroscópico que significa que se puede ver con el ojo desnudo (sin microscopio históricamente) no significa las mismas dimensiones según hablamos con un meteorólogo, un físico nuclear, un astrofísico.

De hecho, podríamos pensar que sería necesario definir otra escala que incluya lo microscópico (que necesite un microscopio), macroscópico (que se pueda ver a ojos desnudos), geoscópico (del tamaño de la tierra), telescópico (que necesite un telescopio), fijando por consenso entre la comunidad científica el rango de aplicación de cada escala. Creemos que facilitaría la comunicación pluridisciplinar, aunque es evidente que, dentro de cada rango, y en cada disciplina, se pueda definir escalas específicas mono disciplinares utilizando los prefijos sub o super para comparar con alguna entidad de referencia, como ya es común. (ejemplo subatómico o superatómico). Este simple hecho de cambio de perspectiva puede llevar a confusiones, queremos precisar el vocabulario utilizado que utilizaremos será el de un meteorólogo:

- Escala microscópica: del tamaño humano, una estación meteorológica ubicada en un emplazamiento muy concreto. Se considera que el estudio de los arrecifes al nivel de la plataforma OPOMLI es microscópico.

- Escala meso escala: de 1km a varios km. Se considera que una foto aérea desde un avión, o una campaña de medición por fotografía desde un avión se realiza a meso escala.
- Escala macroscópica: Se considera las campañas de medición de la NASA con utilización de tecnología satelital como escala macroscópica.

### 4.2 Generalidades sobre la monitorización oceánica

Siguiendo las preocupaciones de los científicos sobre el estado general de la biosfera, y como las actividades humanas le afectan, e impulsado por el desarrollo tecnológico importante que tuvo lugar en la segunda mitad del siglo XX, el monitoreo del medio ambiente marino es una disciplina científica muy amplia disponiendo de muchos medios humanos y tecnológicos en la actualidad.

Cuando uno piensa con que medios se está investigando el calentamiento global (desde el aire o el espacio), siempre se le viene a la mente los satélites de la NASA que investigan la subida de temperaturas de los océanos, o que pueden obtener datos multi-físicos e imágenes multiespectral de gran resolución al nivel macroscópico. Otros medios en cuales unos siempre piensa son los robots marinos que se ven en los reportajes de la BBC sobre los arrecifes de coral donde el reto es investigar lo que no se puede ver desde la superficie, buscando mover los límites de lo anteriormente hecho. Ambos sistemas tienen propósitos muy distintos e involucran tecnologías punteras en su campo, con un coste muy significativo.

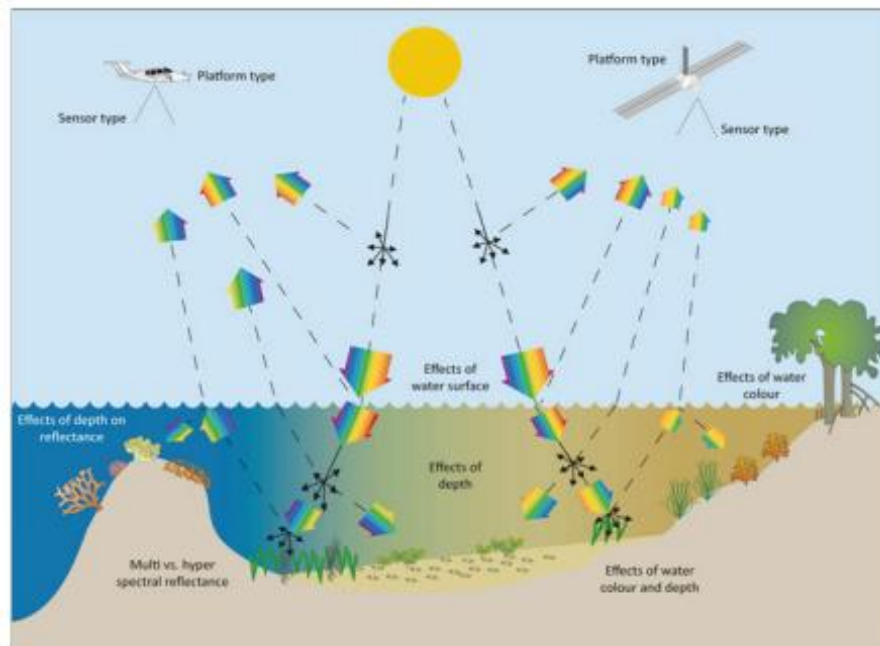


Figura 14: Principios de Investigación Global mediante Sensores Ópticos (fotografía, Imágenes multi espectral...) fuente: James A. Goodman et al. [16]



La verdad es que en el día de hoy existe todo un mundo de tecnologías y aplicaciones para la monitorización de los océanos, y existen muchos libros y papeles científicos sobre el tema. La monitorización remota es ahora una herramienta fundamental para el mapeo, monitoreo y manejo de los ecosistemas de arrecifes de coral. La teledetección ofrece repetibilidad, evaluaciones cuantitativas del hábitat y las características ambientales sobre el espacio zonas muy extensas. El desarrollo tanto de los modelos meteorológicos tipo “WRF: *world research and forecasting*” y de las tecnologías de medición desde el espacio ha sido una revolución impulsada por la voluntad de entender la dinámica de la meteorología y del clima al nivel macroscópico.

Como el campo multidisciplinario de la detección remota de arrecifes de coral se continúa madurando, los resultados demuestran que las técnicas y capacidades continúan mejorando. Los nuevos desarrollos permiten realizar evaluaciones y mapeo de arrecifes formado con mayor precisión, a través de mayores áreas espaciales, y con mayor frecuencia temporal. El aumento del nivel de información que la teledetección ahora la puesta a disposición también permite abordar preguntas científicas más complejas.

A continuación, se presenta una tabla recapitulativa de las muchas tecnologías usadas para el monitoreo de los arrecifes de coral al nivel global, presentada en el libro “*Coral reef remote sensing*” de James A. Goodman et Al. [16]

	Application strength(s)	Deployment platform(s)	Spatial resolution
Section I. Visible-Infrared			
Chapter 1. Introduction			
Chapter 2. Photography	Habitat characteristics	Aircraft	0.05–30 m
Chapter 3. Multispectral	Habitat type	Satellite	
Chapter 4. Hyperspectral	Habitat composition	ISS/Shuttle	
	Habitat distribution		
	Water properties		
Section II. LiDAR			
Chapter 5. Introduction			
Chapter 6. LiDAR	Water depth	Aircraft	1–5 m
Chapter 7. LiDAR/ Hyperspectral	Geomorphology		
	General habitat categories		
	General reef types		
	Habitat distribution		
	General water properties		
Section III. Acoustic			
Chapter 8. Introduction			
Chapter 9. Acoustic	Water depth	Ship	1–40 m
Chapter 10. Deep Acoustic	Geomorphology	AUV	
	General habitat categories	In-Water	
	General reef types		
	Habitat distribution		
	Water velocity		
	Fish presence/distribution		
Section IV. Thermal and Radar			
Chapter 11. Introduction			
Chapter 12. Thermal	Water temperature	Satellite	>1 km
	Water salinity		
Chapter 13. Radar	Surface wind and currents	Satellite	25 m – >1 km
	Particle tracking	Ground station	
	Waves		

Tabla 2: Presentación de tecnologías de monitoreo remoto de los arrecifes de coral por tecnología. [16]



Básicamente, podemos decir que son las campañas de monitorización al nivel macroscópica y mesoscópica que han permitido el avance científico sobre el estado de salud de los arrecifes de coral (sin hablar de todos los otros avances al nivel climatológico que han permitido), y que han puesto a la luz el carácter crítico del calentamiento global sobre el Blanqueamiento del coral, entre otros factores debido a las actividades humanas.

### 4.3 Monitorización mediante red de sensores local

En pocas palabras, los hallazgos de las campañas aéreas o espacial de monitorización de los arrecifes de coral impulsan un nuevo campo de monitorización a microescala en las zonas expuestas por los riesgos identificados por los científicos gracias a las campañas macroscópicas. La monitorización mediante una red de sensores local tiene como objetivo el estudio a microescala de su objetivo, recogiendo datos sobre un periodo *mayor de tiempo* y a una escala *espacial menor*. Las redes inalámbricas de sensores (WSN: “Wireless Sensor Network”), se basan en dispositivos de bajo coste y consumo (nodos) que son capaces de obtener información de su entorno, procesarla localmente, y comunicarla a través de enlaces inalámbricos hasta un nodo central de coordinación. Los nodos actúan como elementos de la arquitectura de comunicaciones al reenviar los mensajes transmitidos por nodos más lejanos hacia al centro de coordinación. A continuación, presentamos un esquema tipo de una red de sensores inalámbricos con una definición básica de los componentes de un nodo:

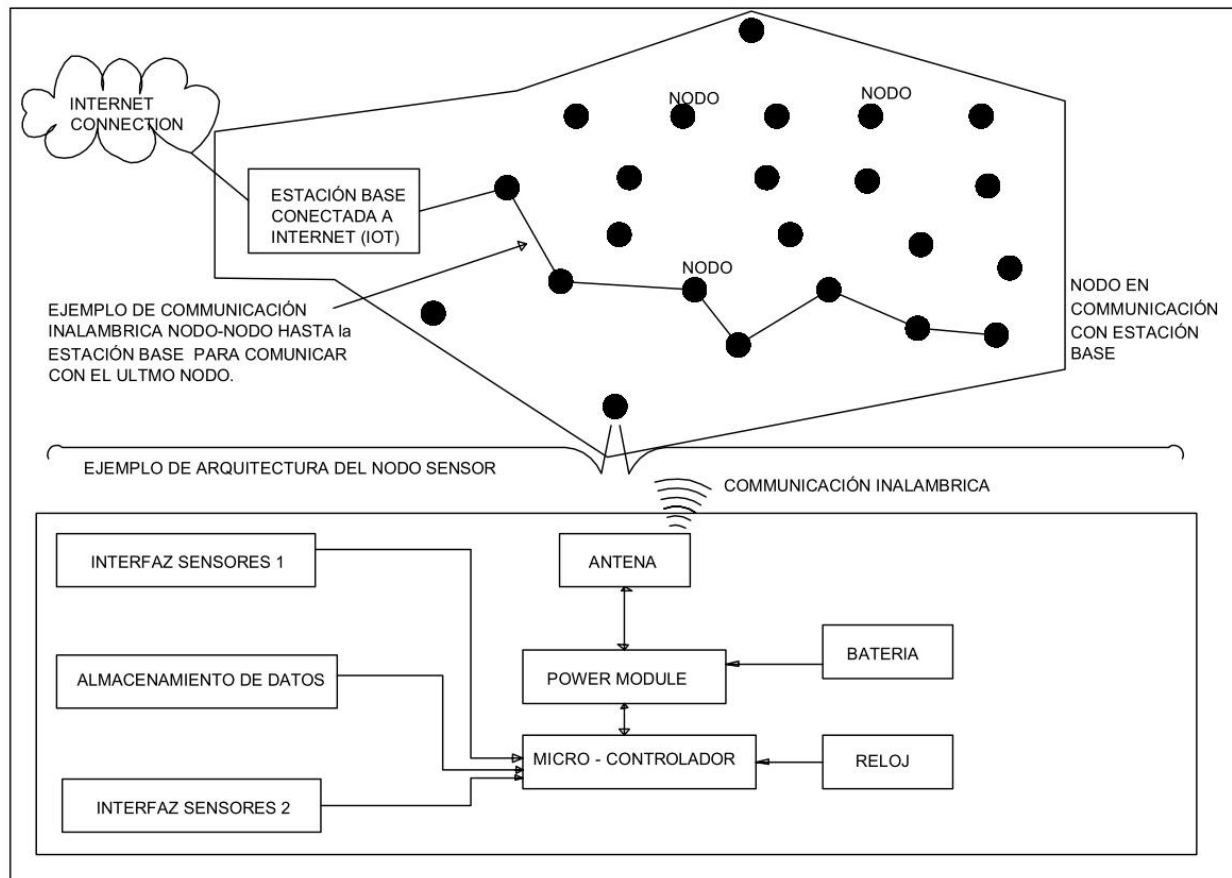


Figura 15: Presentación del concepto de red de sensores inalámbricos.

Es importante destacar que ya se usan redes de sensores inalámbricos en tierra, en diferentes sectores, desde la agricultura puntera hasta plantas industrial, incluso en la detección medioambiental.

En el caso de la plataforma OPOMLI, la red de sensores inalámbricos interviene en el ámbito marino, y tiene como objetivo la medición en sus nodos de constantes físicas y químicas del agua en el entorno en la cual la ubicamos (temperatura, pH, salinidad, turbidez...).

Sin embargo, el medio marino ofrece condiciones de trabajo de los nodos muy distintas a las que se puedan encontrar en tierra. Como bien resaltan varias fuentes bibliográficas y estudios que se han hecho al respecto de las redes de sensores inalámbricos marinas, como (Albaladejo et Al.,2010) [19] medio marino ofrece unos retos tecnológicos que limitan, por el momento, la implementación de dichas redes:

- El medio marino es agresivo para los sensores y su soporte. Tanto los sensores como el elemento estructural al cual están unidos estarán sometidos a la corrosión del ambiente marino y al *biofouling*.

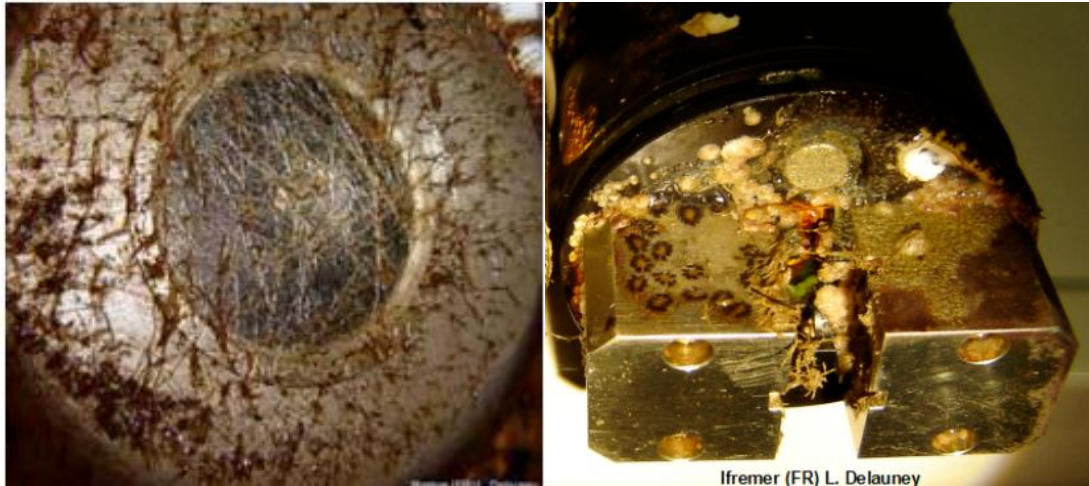


Figura 16: Estado de sensores marinos después de 30-40 días en el ambiente marino. [20]

- Los nodos deben de estar preparados a los movimientos y vibraciones inducidas por el movimiento de las olas, de los buques navegando, de las mareas, y del viento.
- Las señales electromagnéticas usadas por las tecnologías de comunicación (wifi, bluetooth, zigbee...) están atenuadas por el movimiento del mar y por la presencia de iones de sal en el aire. Cabe destacar la incompatibilidad de las comunicaciones radio bajo el agua, con una atenuación de las señales muy importante.
- Los nodos deben de tener un sistema de flotabilidad y anclaje y su implementación, así como las operaciones de mantenimiento necesitan el despliegue de barcos.
- El coste resultando de la instrumentación (sensores) es bastante más alto que los dispositivos funcionando en tierra, debido a los tres puntos anteriores.

Queremos señalar al lector que no estamos considerando en este proyecto la implementación de nodos con comunicación mediante acústica marina sumergidos, sino que se trata de una red de sensores unidos a boyas, flotantes y en comunicación entre ellos y con la plataforma mediante tecnologías basadas en comunicación inalámbricas radio (electromagnética).

A continuación, presentaremos las generalidades sobre las redes de sensores inalámbricos tras la lectura de los papeles científicos que han destacado durante la fase de búsqueda de información que hemos realizado [19] [21] [22] [16] [23] [24].

### 4.3.1 Generalidades sobre las boyas nodo

Debido a las limitaciones físicas de la transmisión de señales en el agua por redes de comunicación radio, la mayoría de las redes de sensores marinos requieren un dispositivo flotador o boya que la antena transmisora – receptora esté en el aire.

Idealmente, y para tener mayor autonomía que una única descarga de la batería como fuente energética, en la parte superior de las boyas se ubican unos dispositivos generadores eléctricos. La gran mayoría usa un panel fotovoltaico pequeño dimensionado para abastecer los consumos del nodo en conjunto con el dimensionamiento de la batería y su modo de funcionamiento). En caso de que sea necesario para el proyecto, la parte superior de la boya puede también albergar unos sensores de superficie (termómetro, barómetro, celda captadora de luz...)

La parte sumergida de la boya, en contacto con el agua de mar, es donde se instalan los sensores marinos (pH, turbidez, termómetro, conductividad eléctrica) estanques. Las boyas constan también de un sistema de anclaje y en algunos casos contrapesos para fijar su ubicación y amortiguar los esfuerzos exteriores (corrientes marinas, viento, oleaje...).

El diseño de las boyas varía mucho según el tipo de condiciones ambientales a los cuales se va a enfrentar, así como el sistema amortiguador. Sin embargo, en general las boyas también sirven para albergar con estanqueidad, el módulo de potencia, las baterías, el sistema de almacenaje de datos, la electrónica, el microprocesador, así como los enlaces cableados entre los dispositivos. A continuación, presentamos un esquema tipo de una boya nodo sensor:

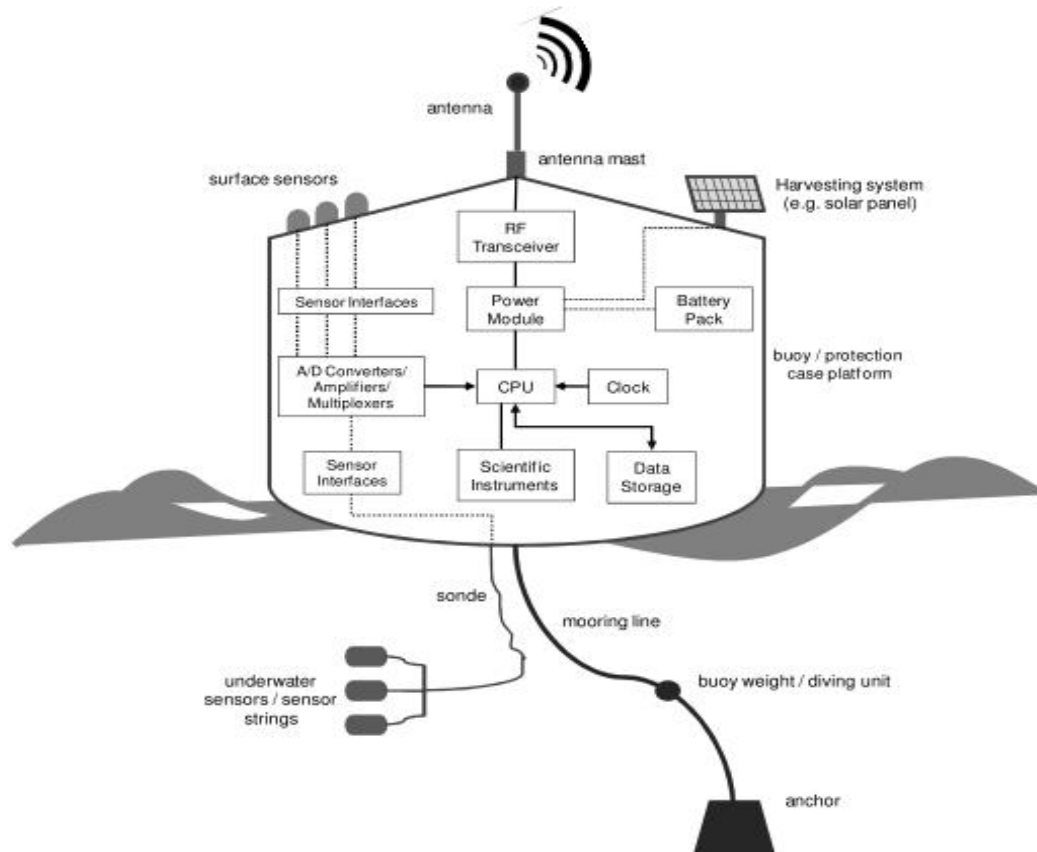


Figura 17: Boya nodo sensor tipo. Fuente: Albaladejo et al [19]

#### 4.3.2 Comunicaciones

En general, la selección de tecnologías adecuadas de transmisión de señales electromagnéticas es una función de los requerimientos básicos de la red que se pretende formar. Como mínimo en una fase conceptual, se debe de tener en cuenta los siguientes aspectos técnicos:

- Cantidad de datos a transmitir (*byte*)
- Velocidad de transmisión (*byte/segundo*)
- Rango (m) de transmisión inter-nodos y nodos-estación base
- Atenuaciones de las señales debido al medio ambiente
- Redundancia y topología de red
- Geometría de la red definida por la aplicación buscada

La ilustración siguiente presenta dos tipos de topología de red, la comunicación punto a punto ("*point to point*" en inglés) donde los nodos sensores comunican únicamente con nodos especiales denominados nodo comunicador principal. Los nodos sensores no comunican con otros nodos sensores y el nodo comunicador principal no tiene una función de medición y consecuentemente no tiene sensores. Sin embargo, el nodo comunicador principal tiene un módulo de potencia mayor y realiza los enlaces de

comunicación con varios nodos sensores mediante red inalámbrica (tipo *Wifi*, *zigbee* etc...) y los enlaces de comunicación con la estación base por red móvil (*GSM* u *GPRS* si la estación base está lejos lo cual es el caso en las aplicaciones estándares) con unos paquetes de datos mayores. Este tipo de red se formaliza por una representación física en estrella.

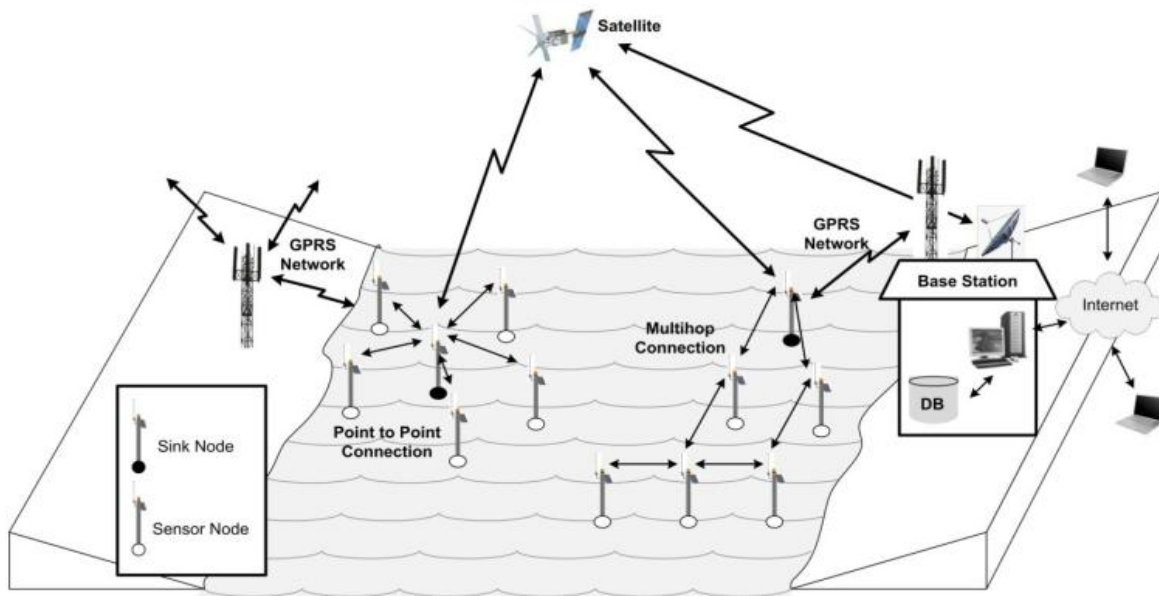


Figura 18: Comunicación *Point to Point* y *multihop*. Fuente: Albaladejo et al [19]

Otra topología de comunicación posible es una red "*multihop*" donde todos los nodos sensores comunican entre ellos recopilando la información de los nodos próximos de manera establecida en la etapa de diseño hasta un nodo comunicador principal cuyo objetivo es la recopilación de todos los datos y transmisión a mayor distancia con la estación base. Los nodos sensores de una red "*multihop*" tiene mayor capacidad de comunicación, así como una capacidad de computar los datos de los otros nodos y de sus propios sensores, por lo tanto, tienen un mayor consumo energético.

Albaladejo et A [19] identifica las tecnologías de comunicación que se pueden elegir según los requisitos de la aplicación:

Technology	Standard	Description	Throughput	Range	Frequency
WiFi	802.11a 802.11b/g/n	System of wireless data transmission over computational networks.	11/54/300 Mbps	<100 m	5 GHz 2.4 GHz
WiMAX	IEEE 802.16	Standard for data transmission using radio waves.	<75 Mbps	<10 km	2–11 GHz 3.5 GHz: Europe
Bluetooth	IEEE 802.15.1	Industrial specification for WPAN which enables voice and data transmission between different devices by means of a secure, globally free radio link (2.4 GHz).	v. 1.2: 1 Mbps v. 2.0: 3 Mbps UWB: 53–480 Mbps	Class 1: 100 m Class 2: 15–20 m Class 3: 1 m	2.4 GHz
GSM		Standard system for communication via mobile telephones incorporating digital technology	9.6 Kbps	Dependent on cellular network service provider	900/1800 MHz: Europe 1900 MHz: USA
GPRS		GSM extension for unswitched (or packaged) data transmission.	56–144 Kbps	Dependent on cellular network service provider	2.5 GHz
	IEEE 802.15.4	Standard defining the physical level and control of medium access of WPANs with low data transmission rates.	20 Kbps: 868 MHz: Europe 40 Kbps: 915 MHz: Americas 250 Kbps: 2.4 GHz: Worldwide	<100 m	868/915 MHz and 2.4 GHz.
ZigBee	IEEE 802.15.4	Specification of a set of high-level wireless communication protocols for use with low-consumption digital radios, based on WPAN standard IEEE 802.15.4.	250 Kbps: 2.4 GHz: Worldwide	<75 m	2.4 GHz.

Tabla 3: Tecnologías de comunicación inalámbrica. [19]

Notar que la elección de la tecnología a usar para la comunicación entre los nodos de comunicación principal y la estación base es el mismo que el que acabamos de describir. Por ejemplo, si la estación base se ubica a la misma distancia máxima del nodo de comunicación principal que la distancia entre los nodos sensores – nodos de comunicación principal, se puede usar la misma tecnología.

#### 4.3.2 Funcionamiento de un nodo sensor

El funcionamiento de un nodo sensor depende de los diferentes hardware requeridos, de la topología de red empleada, así como de los enlaces energéticos y de señales internos al nodo, como externos con los otros nodos y la estación base. Este apartado es genérico y tiene como objetivo definir al nivel conceptual las interacciones energéticas y de señales de una boya tipo. A continuación, presentamos el diagrama bloque de los hardware de una boya tipo nodo:



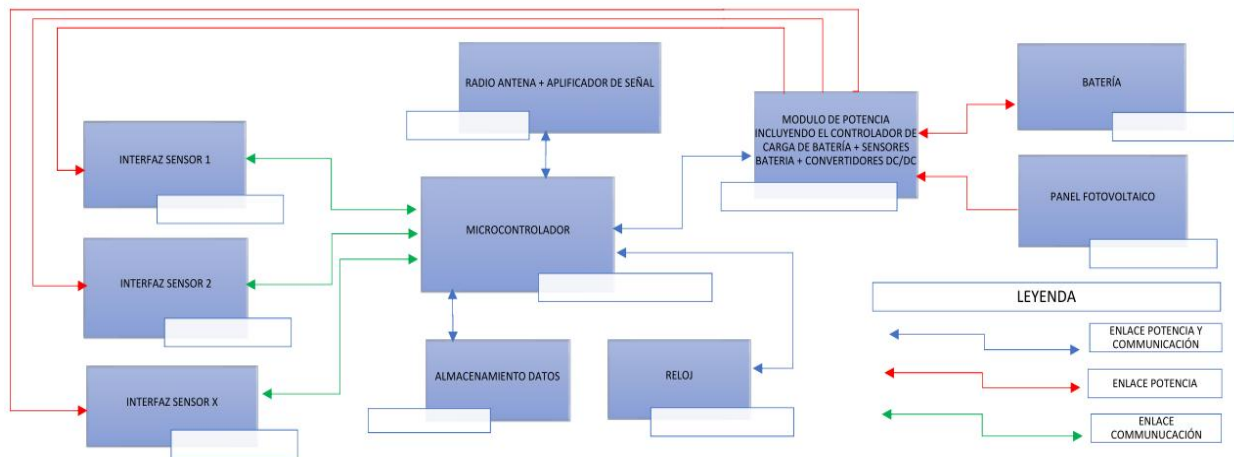


Figura 19: Diagrama bloque tipo de un nodo sensor – presentación de concepto

Básicamente, el *hardware* electrónico de la boya tipo consiste en los sensores que se quieren implementar en la boya y todos los hardware necesarios para el correcto funcionamiento de dichos sensores (suministro de corriente eléctrica al voltaje deseado) así como los hardware para la comunicación remota de las medidas tomadas por los sensores hasta la estación base.

Por lo tanto, es necesario tener una fuente principal de energía, la batería cuyas características dependerán de la energía a suministrar y del tiempo de descarga total requerido por la aplicación. Notar que estamos hablando de suministro de energía en corriente continua. Es posible y aconsejado tener una fuente de transformación de energía renovable para poder recargar la batería como pueden ser un pequeño panel fotovoltaico, una mini eólica o un dispositivo de recuperación de energía marina. Muchas alternativas están detalladas en el artículo científico de Chris night et Al. [22]

Según los sensores que se requieren implementar, se puede requerir diferentes características de suministro eléctrico tanto en Voltaje como en Amperaje. Como hemos comentado antes, los nodos sensor requieren fuentes de energía en corriente continua, así que tendremos que incluir un pequeño módulo de potencia en forma de circuito de placa. El módulo de potencia deberá incluir los diferentes convertidores DC/DC para el correcto suministro de corriente continua a los diferentes elementos acorde al rango de voltaje requerido por los diferentes hardware (ej. 3.3-5V para un sensor de pH Ezo-pH de *Atlas scientific*). El módulo de potencia también deberá incluir un sistema de gestión de cargas/descargas de la batería e incluir sensores de corrientes, voltaje del bus de la batería.

El microprocesador es el cerebro de las distintas operaciones del nudo sensor. Conviene que este bien programado para que use la cantidad mínima de energía. Por ejemplo, si el microprocesador viene integrado a un circuito de placa genérico disponible en el comercio, como un Arduino Uno, pues conviene deshabilitar ciertas funciones que viene preprogramadas como puede ser la puesta en marcha de un LED cuando este encendido. El microprocesador gestiona las operaciones de comunicación con los distintos *hardware*:

- la toma programada de medición de los sensores
- la gestión del tiempo mediante un RTC ("*real time clock*")



- la lectura/escritura en el dispositivo de almacenamiento de datos, así como la gestión de dicho elemento.
- La comunicación con el módulo de potencia para recuperar los datos medidos en esta tarjeta electrónica
- También la tarjeta electrónica que incluye el microcontrolador tiene su propio módulo de potencia para alimentarse en energía, así como la memoria...
- La comunicación y gestión preprogramada de aquella con el exterior (otros nodos y estación base).

Sin entrar en detalles de programación y de algoritmos a implementar para el correcto funcionamiento del nodo sensor (fuera del alcance de este trabajo), podemos identificar las funciones de estado básicas de un nodo sensor:

1. Hibernar (*Hibernate* en inglés): Consiste en estado en el cual el nodo está en modo ahorro de energía y no realiza operaciones. El nodo se encuentra en este estado la mayoría del tiempo y es clave para la gestión energética del nodo sensor.
2. Conexión para recibir datos (*Connection to get data* en inglés): Consiste en el estado en el cual el nodo intenta sincronizarse con otros nodos cercanos para recibir los datos obtenidos por aquellos anteriormente. La secuencia depende tanto de la tecnologías y hardware usados, así como de la gestión algorítmica de esta comunicación. Suelen funcionar de la siguiente manera: demanda de conexión, respuesta a la demanda satisfactoria, sincronización con otros nodos. Ojo, según el número de nodos y topología de la red, así como la ratio de éxito de transmisión, esta fase puede ser más compleja y requerir más o menos tiempo.
3. Obtención de datos de sensores (*Get sensor data* en inglés): Consiste en el estado en el cual el microprocesador activa los sensores para realizar una serie de mediciones durante un tiempo determinado por la aplicación.
4. Procesar los datos y almacenarlos (*Process and store data* en inglés): Consiste en el estado en el cual el microprocesador recibe los datos de los sensores, realiza una serie de operaciones matemáticas para rechazar los datos que fallados y hacer una media para almacenar los datos en la memoria. Incluye también las operaciones de lectura del RTC y de los datos medidos en el módulo de potencia, así como las operaciones matemáticas para suprimir los datos ya enviados varias veces anteriormente cuando el nodo haya recibido confirmación que esos datos ya se enviaron varias veces desde la estación base.
5. Escuchar (*Listen* en inglés): Estado siguiendo la conexión para recibir datos (2.) en el cual el nodo sensor está listo para la recepción de datos. El tiempo de escucha es mayor al tiempo de recepción de datos ya que los intentos pueden ser fallados debido a condiciones externas.

6. Compilar y almacenar datos de otros nodos (*Compile and store other node data* en inglés): Siguiendo la recepción de datos de otros nodos, esta operación similar al 4. Consiste en el estado en el cual el microprocesador recibe datos de otros nodos, realiza operaciones para su correcta escritura en la memoria. Incluye las otras operaciones anexas al correcto almacenamiento y gestión de memoria comentado en 4.
7. Conexión para enviar datos a otros nodos (*Connect to send data* en inglés): Estado muy similar al (2.) pero con objeto de enviar los datos.
8. Enviar datos a otros nodos (*Send data to other node*): Estado en el cual se envían los datos a otros nodos.

Nota 1: Los distintos estados enumerados son conceptuales y se parecen bastante con los que nos hemos encontrado en la bibliografía específica sobre las redes de sensores inalámbricos. Sin embargo, esta lista no es exhaustiva, y no sigue una normativa de comunicación (*IEEE, ANSI...*) específica, sino que resulta ser lógica para el autor de este documento y suficientemente desarrollada al nuestro entender para definir conceptualmente el tipo de red que el proyecto de estación OPOMLI pretende ayudar a desarrollar.

Nota 2: La secuencia de la lista funciones de estados de un nodo sensor no es la que ocurre en funcionamiento como podrán ver en el apartado 4.43, y todos los nodos no tienen por qué tener la misma secuencia temporal de funciones de estado. En efecto, para no tener interferencias entre distintas señales, conviene que los nodos envíen información en tiempos distintos.

#### 4.4 Ejemplo de red de sensores inalámbricos para monitorización del arrecife de coral de l'Hermitage

En este subapartado, queremos definir al nivel conceptual una red de monitorización del arrecife de coral de l'Hermitage en la Isla de Réunion. Sabiendo que no pretendemos realizar un prototipo de boya sensor como lo hicieron por ejemplo Albaladejo et AL. [21] , ya que esta fuera del alcance de este proyecto, el objetivo es definir en base a la bibliografía citada anteriormente, unas tecnologías tipo y hardware tipo, para determinar un perfil tipo de consumo eléctrico de las boyas sensor.

##### 4.4.1 Ubicación de los nodos sensor y generalidades

A continuación, presentamos la ubicación geográfica elegida para la implantación hipotética de la plataforma OPOMLI denominada OPOMLI REUNION, ubicada en las coordenadas UTM siguientes:

Zona: 40 K

Longitud: 315258.95 m E

latitud: 7667242.36 m S

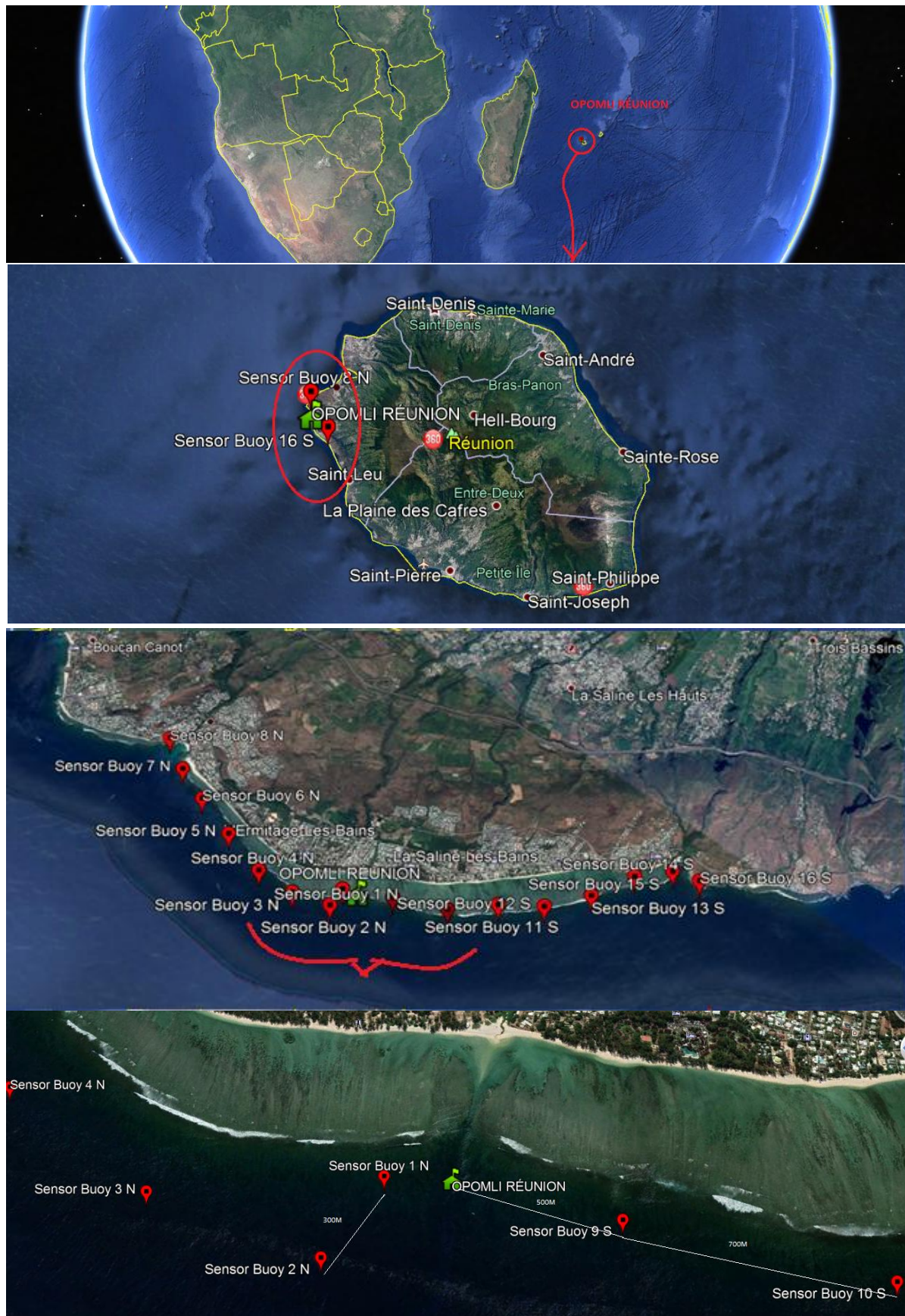


Figura 20: Ubicación tipo de la red de sensores inalámbricos - OPOMLI RÉUNION

La red tipo planteada consiste en 16 boyas sensor, dispuestos a lo largo de la barrera de coral del oeste de la isla de Réunion. A continuación, presentamos la lista de coordenadas de la red de boyas sensores con las distancias mínimas hasta la siguiente boya:

	COORDENADAS UTM			
PUNTO	DATUM WSG84 ZONA 40K			
	X (mE)	Y (mS)	dmin (m)	d OPOMLI (m)
OPOMLI REUNION	315 258,95	7 667 242,36		
SB 1N	315 130,28	7 667 374,55	184,47	184,47
SB 2N	314 851,33	7 667 321,18	284,01	415,17
SB 3N	314 652,02	7 667 805,11	523,37	827,68
SB 4N	314 581,99	7 668 360,54	559,83	1 307,13
SB 5N	314 699,26	7 669 076,47	725,47	1 917,61
SB 6N	314 838,88	7 669 770,61	708,04	2 562,91
SB 7N	314 988,60	7 670 347,98	596,47	3 117,37
SB 8N	315 216,42	7 670 891,50	589,34	3 649,39
SB 9S	315 480,60	7 666 821,94	475,27	475,27
SB 10S	315 834,42	7 666 202,79	713,12	1 188,22
SB 11S	316 334,29	7 665 784,78	651,62	1 811,32
SB 12S	316 718,51	7 665 347,95	581,76	2 391,46
SB 13S	317 261,13	7 665 018,93	634,58	2 992,05
SB-14S	317 875,75	7 664 795,13	654,10	3 582,82
SB-15S	318 278,73	7 664 486,84	507,38	4 088,03
SB-16S	318 400,18	7 664 153,09	355,16	4 405,78

Tabla 4: lista de coordenadas de la red de sensores planteada. OPOMLI RÉUNION

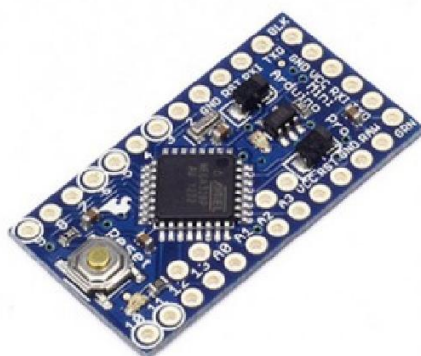
Con este planteamiento, y visto el capítulo 4.3.1 sobre las comunicaciones de redes inalámbricas de sensores, seleccionamos como tecnología de comunicación entre las diferentes boyas y la estación OPOMLI la tecnología WIMAX IEEE 802.16 con un rango de hasta 10 km. La red de sensores inalámbricos con esta tecnología permite que haya redundancia de comunicación entre las diferentes boyas y hasta todas pueden comunicar con la estación base OPOMLI directamente (ver tabla precedente). Resulta que se podría usar las dos topologías de red presentadas anteriormente, "*point to point*" y "*multihop*".



#### 4.4.2 Selección de *hardware*

En este apartado, presentaremos los distintos hardware electrónicos, así como los sensores seleccionados para nuestra aplicación tipo de red de boya sensores de monitorización del arrecife de coral. La realización del diseño mecánico de la boya no está dentro del alcance de este trabajo, aunque fuera muy interesante realizarlo en un futuro, nos focalizaremos en los hardware electrónicos y comunicación con un enfoque energético. A continuación, presentamos una selección de los hardware electrónicos que hemos realizado basado en la búsqueda de información que hemos realizado al respecto:

- Tarjeta electrónica ARDUINO PRO MINI con microcontrolador ATmega328P, en su versión 3V.



Microcontroller	ATmega328P *
Board Power Supply	3.35 -12 V (3.3V model) or 5 - 12 V (5V model)
Circuit Operating Voltage	3.3V or 5V (depending on model)
Digital I/O Pins	14
PWM Pins	6
UART	1
SPI	1
I2C	1
Analog Input Pins	6
External Interrupts	2
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	32KB of which 2 KB used by bootloader *
SRAM	2 KB *
EEPROM	1 KB *
Clock Speed	8 MHz (3.3V versions) or 16 MHz (5V versions)

(\*) Older boards were equipped with ATmega 168 with this specs:

- Flash memory: 16 KB
- SRAM: 1 KB
- EEPROM: 512 bytes

La tarjeta electrónica ARDUINO PRO mini incluye también el reloj a tiempo real (*real time clock*) y una memoria flash de 32KB de los cuales 30KB son disponibles para nuestra aplicación. Sobre los consumos energéticos del Arduino mini, al nivel conceptual, sin considerar las variaciones de consumos de la tarjeta electrónica según las tareas que se les pide, consideraremos los consumos de la tabla siguiente, donde seleccionamos el funcionamiento de la tarjeta habiendo deshabilitado el led de la tarjeta y usando la biblioteca *Ultra low power*. A continuación se presenta una tabla de consumos del Arduino pro mini que usaremos en la evaluación de los consumos (fuente: <http://www.home-automation-community.com/arduino-low-power-how-to-run-atmega328p-for-a-year-on-coin-cell-battery> by Madcoffe).

RESULTS OVERVIEW					
ATmega328P Pro Mini Version	PWR Source	State	5.0 V @ 16 MHz	3.3 V @ 8 MHz	
Unmodified	RAW Pin	ACT	19.9 mA	4.74 mA	
Unmodified	RAW Pin	PDS	3.14 mA	0.90 mA	
No Power LED	RAW Pin	ACT	16.9 mA	3.90 mA	
No Power LED	RAW Pin	PDS	0.0232 mA*	0.0541 mA*	
No Power LED, no Regulator	VCC Pin	ACT	12.7 mA	3.58 mA	
No Power LED, no Regulator	VCC Pin	PDS	0.0058 mA	0.0045 mA	

Tabla 5: Consumo eléctrico DC ARDUINO MINI PRO

Notar que se presentan los consumos en modo activo y en modo hibernar que incluye un *watchdog* del *timer* para contar hasta que se active la siguiente vez.

- Arduino Wimax Shield para comunicaciones radio en WIMAX IEEE 802.16. Hemos encontrado muy poca información sobre tarjetas electrónicas para comunicación WIMAX. Sin embargo, lo más cercano a lo que buscamos es el módulo CC3000 WIFI de "Texas Instrument" usado en aplicaciones WIMAX según Kirumbasankar et Al [25], para un controlar remotamente un coche. A continuación, presentamos la tarjeta CC3000 WIFI IEEE 802.11b (notar que no es IEEE 802.16 como buscamos).



#### CC3000 Arduino Shield Features

On-board WiMAX Antenna

Optional External Antenna Connection (U.FL)

Supply Voltage: 4.5V - 12V

Host Interface: SPI @ 16 MHz

Throughput (TCP): ~4 Mbps

WEP, WPA/WPA2 (AES and TKIP - Personal) Security Modes

Prototyping Area

No hemos encontrado datos de consumos de la tarjeta WIMAX anterior, y en este estado del proyecto, sabiendo que Albajadero et Al [9] usaron un módulo radio CC2520 que les permitía alcanzar un rango de 3km para un consumo eléctrico de 50 mA para establecer la comunicación (2. *Conexión to get data* y 7. *Conexión to send data*) con la estación base y de aproximadamente 18 mA para enviar sus paquetes de información; supondremos un consumo de la fase (2.) Y (7.) de nuestra boya tipo serán de 60mA para establecer la comunicación y de 24mA para transmitir, de manera totalmente arbitraria. También consideraremos que en modo hibernar, la tarjeta WIMAX consuma igual que la Arduino, ósea 0.0541 mA. No hemos seleccionado la antena, pero sería una antena omnidireccional para aplicaciones Wimax (ósea un poco más grande que un antena wifi).





Figura 21: Antena tipo omnidireccional para aplicaciones WIMAX.

- Serie de Sensores Compatibles con Arduino Mini: Hemos hecho una selección de sensores de bajo coste para una boya tipo de manera similar a [23] [24] y hemos elegido 2 sondas de pH EZO-pH de "Atlas scientific", 2 sondas de temperaturas Adafruit DS18B20, 2 sondas de conductividad de Atlas scientific, 2 sondas de turbidez DF Robot Gravity así que un sensor de radiación solar de superficie. A continuación, presentamos una tabla con un resumen de datos técnicos para realizar el estudio de consumos de la boya tipo:

Sensor type	Analogue turbidity for Arduino	Waterproof temperature sensor	Ph probe and circuit	Conductivity Board	solar radiation
data sheet Link	<a href="https://www.dfrobot.com/product-1394.html">https://www.dfrobot.com/product-1394.html</a>	<a href="https://www.adafruit.com/product/381">https://www.adafruit.com/product/381</a>	<a href="https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_circuit/pH_EZO_Datasheet.pdf">https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_circuit/pH_EZO_Datasheet.pdf</a>	<a href="https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_oem/EC_oem_datasheet.pdf">https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_oem/EC_oem_datasheet.pdf</a>	<a href="https://www.adafruit.com/product/439">https://www.adafruit.com/product/439</a>
max power [mA]	40,00	1,50	18,30	19,97	0,60
Vnom range (dc) [V]	3-5,0	3-5,5	3,3-5,0	3,3-5,5	2,7-3,6
min power-hibernate mode [mA]	0,25	0,00075	0,02	2,56	0,01
max power [mW]	200,00	7,50	91,50	99,85	2,16
Number of sensor per buoy	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00
Coste Unitario	9,90 USD	9.95 USD	40 USD	60 USD	5.95 USD

Tabla 6: Resumen de características técnicas de los sensores seleccionados

La idea tras tener 2 sensores para la evaluación de los parámetros físicos del agua es de ubicar una primera serie a poca profundidad y la otra a una profundidad mayor. Los datos propuestos de máxima.

Notar que hemos seleccionado solo sensores compatibles con el Arduino mini, necesitando una fuente de energía continua casi en el mismo rango 3.3 – 5V, a excepción del sensor de radiación solar. Por lo tanto, tendríamos necesidad de tener solamente dos interfaces sensor (dos alimentaciones regulada DC en el módulo de potencia para los sensores).

- *Power module - módulo de potencia:* El módulo de potencia de los nodos sensores tipo deberá permitir la correcta interfaz entre las baterías, el panel fotovoltaico, y tener los convertidores DC-DC necesarios, así como los reguladores de tensión con protecciones para no dañar la batería cuando este a  $V_{min}$  o  $V_{max}$ . También hay que tener en cuenta las caídas de tensión que ocurren en los cableados entre los convertidores DC/DC y los sensores, especialmente los sensores que se ubicarán a mayor profundidad (ejemplo a 5m de profundidad).

La definición del módulo de potencia esta también ligado al panel fotovoltaico elegido, así como la batería. Por lo tanto, debemos proceder a una estimación de los consumos energéticos de la boya durante un ciclo de funcionamiento, tal y como lo hemos planteado en el apartado 4.3.2.

### 4.4.3 Estimación de consumos energéticos de un nodo sensor

Queremos advertir el lector que esta estimación se ha hecho en base a lo investigado en la bibliografía, los datos técnicos de los hardware seleccionados que hemos encontrado al respecto y no refleja un diseño hecho, sino que la primera fase de diseño, siendo conservador con respecto a las asunciones que realizamos, sabiendo que se ajustaría en una fase posterior de diseño de red de sensores inalámbricos.

#### Hipótesis sobre el funcionamiento:

- Supondremos que la boya funcionará con un ciclo de 5 minutos ósea 300 segundos.
- Los tiempos de estado de cada fase se han seleccionado arbitrariamente, inspirándonos del trabajo de Albajadero et Al [19]. EN particular los tiempos que hemos seleccionado son mayores a los vistos en otros trabajos para que la estimación sea conservadora.
- Para simplifica, supondremos en el cálculo que todos los hardware estén usando energía a 5V, lo cual es consistente con las fichas técnicas de los hardware (a excepción del sensor de radiación).
- Cuando un dispositivo este en modo de uso (ON), la corriente resultando usada en el cálculo será la corriente máxima encontrada en las fichas técnicas.
- Despreciamos la variación de pérdidas en los sensores (entre los que estén justo debajo de la boya y los que estén a 5m de profundidad) e incluiremos al final de la estimación de consumos de los hardware un factor de seguridad de 1.1 para el dimensionamiento de la batería.
- Despreciamos la intensidad de funcionamiento de la *power board*.

- La intensidad necesaria para los estados 2, 7, 8 están extrapolados del trabajo [21], como explicamos en el párrafo sobre el Shiel Wimax.
- Para cada estado de funcionamiento, se evalúa cuáles son los hardware en funcionamiento o hibernando y se suman los consumos de la manera siguiente:

$$I \text{ state function} = \sum_{Hardware} I_{State Hardware} \quad (1)$$

donde:  $I \text{ state Hardware} = I_{max}; I_{hibernate} \text{ (if hardware on; else)}$

Por Ejemplo: cuando la boya está en función 1. Hibernate, la corriente que resulta es la suma de todas las I hibernando de los diferentes hardware:

$$I \text{ Hibernate (1.)} = \sum_{Hardware} I_{State Hardware} = \sum_{Hardware} I_{State Hibernate} \quad (2)$$

$$I \text{ Hibernate (1.)} = I_{Ard_h} + I_{Shield_h} + \sum_{n=1}^9 I_{sensor_h}(n) \quad (3)$$

donde:

$I_{Ard_h}$  : Es la corriente típica del Arduino mini pro en estado de hibernación = 0.0541mA (Ilustración 21).

$I_{Shield_h}$  : Es la corriente típica de hibernación del Arduino CC3000 Shield = 0.0541mA

$I_{sensor_h}(n)$ : Es la corriente de hibernación de cada uno de los 9 sensores (n variando de 1 a 9)

$$\text{Entonces: } I \text{ Hibernate (1)} = 5.31 \text{ mA} \quad (4)$$

Como Ultima etapa del cálculo, realizamos la estimación energética promedio horaria:

$$E [mAh.] = \Delta T \times I \times n_c / 3600 \quad (5)$$

donde:

$\Delta T$  es la duración de un ciclo completo en segundos.

$N_c$  es el número de ciclo por hora.

A continuación, presentamos la tabla resumen de los consumos durante los distintos estados de las boyas sensores, así como la estimación energética:

State Function	t1 [s]	t2 [s]	I [mA]	Energy consumed [mA.h]
1. Hibernate	0,00	240,00	5,31	4,25
2. Conection to get data	250,00	265,00	60,00	3,00
3. Get sensor data	240,00	250,00	164,09	5,47
4. Process and Store sensor data	250,00	255,00	9,10	0,15
5. Listen other node	265,00	280,00	39,10	1,96
6. Compile and store other node data	275,00	285,00	9,10	0,30
7. conection to send data	281,00	290,00	60,00	1,80
8 send data to other node	290,00	300,00	24,00	0,80
			Hour overall consumption	19,50

Tabla 7: Consumos energéticos según la función de estado de la boya proyectada

Notar que para la determinación del consumo total que nos sirve como dato base para determinar el arreglo de batería que seleccionaremos, hemos incluido un factor de incertidumbre de 1.1, que consiste en una estimación del conjunto de pérdidas que ocurre en la transmisión de la energía desde las baterías / panel solar hasta los consumidores, además de los consumos de la tarjeta electrónica de potencia y de las pérdidas en convertidores DC/DC. Esta primera estimación, y la construcción del perfil de estados de la boya nodo tipo se puede encontrar de manera gráfica en la ilustración siguiente:

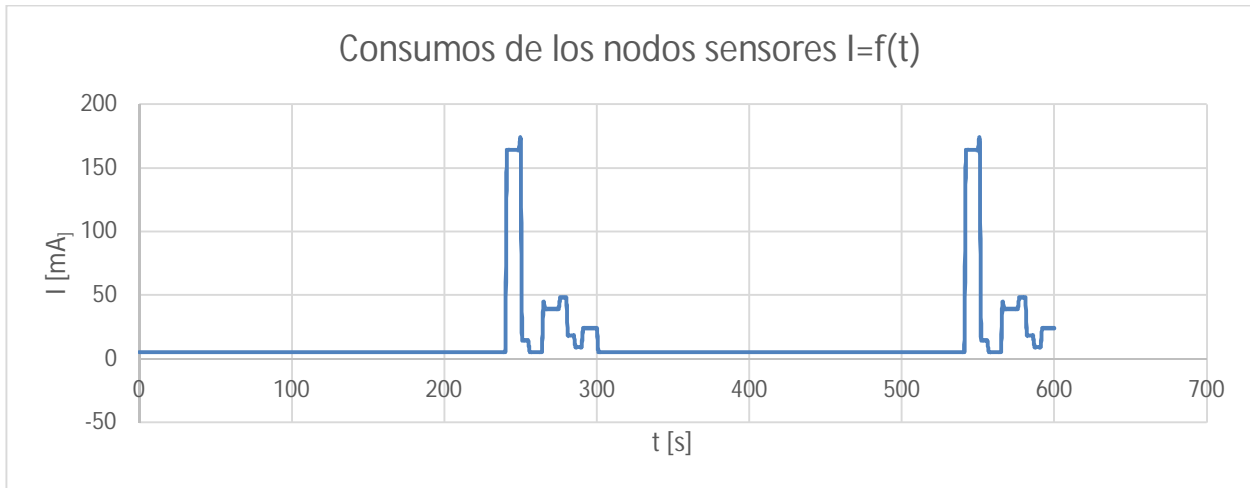


Figura 22: 2 ciclos de consumo de los nodos sensores.

El consumo horario promedio de un nodo sensor es de 19.50 mA.h, lo cual es 62.5% superior a los 12 mA.h del prototipo de Albajadero et al [21].

En base al consumo que hemos encontrado seleccionamos un arreglo de 6 baterías 6V litio-dióxido de manganeso 1500 mA.h llegando a una capacidad de 9000mA.h. Estimando el número de días de funcionamiento de un nodo sensor, sin considerar el aporte de un mini panel fotovoltaico, llegaríamos a:

$$\text{Numero de días de funcionamiento NODO} = \frac{9000 \text{ [mA.h]}}{19.50 \times 24 \text{ [mA.h]}} = 19.23 \text{ días} \quad (6)$$

El arreglo sería de 4 baterías en serie para suministrar Arduino mini y sensores tras la transformación y regulación de la tensión en el *power board*, y dos en paralelo para llegar a 12V para alimentar la CC3000, que necesita a priori una tensión mayor. En todo caso, para la recarga de la batería, dispondríamos de un panel fotovoltaico de aproximadamente 6-10W y, en conclusión, parece ser que, según el pre-dimensionamiento expuesto energético, no existe problemas tecnológicos para el abastecimiento energético durable de los nodos sensor. Visto lo anterior, recargar todas las baterías de 6V en la estación OPOMLI suponiendo un 97.5% de eficiencia de la carga, supondría el suministro de 151.6 A.h a 6V, o sea 909.4 wh, lo cual es muy inferior a los 61.6 kwh de consumo diario de la plataforma como se verá en los capítulos posteriores. En el estudio de consumos de la plataforma, se ha considerado 300wh diarios de consumos para recarga de las baterías de instrumentación, pero se he decidido así para ser muy conservador y poder englobar la definición de un número mayor de sensores en red aislada necesitando recarga. Visto lo anteriormente expuesto, presentaremos a continuación el diagrama bloque de la boya tipo que podríamos instalar para cumplir con la función de monitorización del ambiente marino de la estación OPOMLI Réunion.

*I. Diagrama de Bloque de la electronica de una boya tipo*

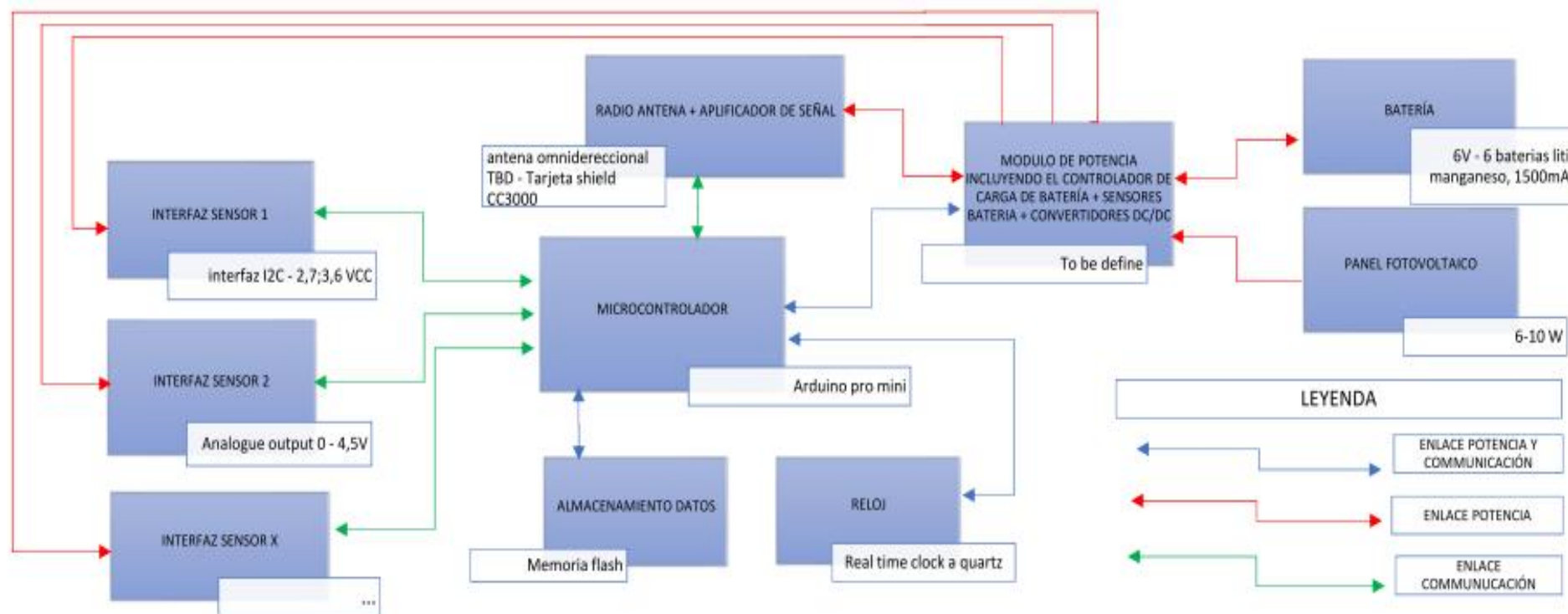


Figura 23: Diagrama bloque tipo de un nodo sensor tipo- OPOMLI



#### 4.5 Ventajas al tener la estación OPOMLI junto a redes inalámbricas de sensores marinos

Para no extendernos demasiado, listaremos a continuación los puntos ventajas que creemos que aportaría el desarrollo de la plataforma OPOMLI junto a una red de sensores inalámbricos de monitorización marina:

- Control de la integridad física de las boyas y mantenimiento preventivo como correctivo.
- Recarga, así como limpieza del *biofouling* en sitio tras la detección de problemas (*troubleshooting*).
- La plataforma puede servir para campañas de testeo de redes inalámbricas marinas.
- En caso de temporal excesivo (huracán) unos operarios pueden albergar las boyas en el almacén de la plataforma OPOMLI que será remolcada hasta un puerto natural o industrial para estar a salvo.

## Capítulo 5. Instalación eléctrica de la plataforma

EL objetivo de este capítulo es, tras la selección de los equipos eléctricos que formaran parte de la estación OPOMLI, estimar de manera conservadora sus consumos eléctricos, con el objetivo subyacente de demostrar la factibilidad de la utilización de soluciones de energía renovable y de baterías de última generación para proporcionar la integralidad del suministro de energía de la plataforma.

Al nivel de instalaciones, la plataforma OPOMLI será totalmente eléctrica, no se prevé el uso de instalaciones de gas, y el suministro de energía se realizará solamente mediante fuentes de energía renovable. No trataremos la instalación de agua sanitaria (tampoco trataremos de la instalación anti-incendio) que será muy básica, a excepción de la presencia de una desalinizadora “*ecosystem*” que se instalan normalmente en los veleros y de un tanque para el almacenamiento del agua desalinizada y un par de bombas de bajo consumo, el resto de la instalación será plomería corriente. Al nivel de la recogida de aguas sucias, se prevé dos tanques de gran tamaño, amovibles para que sean transportado hasta tierra donde se tratarían las aguas residuales. En una etapa posterior se podrá diseñar las instalaciones de agua, y evalúa la factibilidad de usar el tanque de agua como un medio para almacenar la energía en forma de energía mecánica potencial mediante una mini bomba reversible. A primera vista, para la estabilidad de la plataforma, no parece muy buena idea la de tener un tanque consecuente (varios m<sup>3</sup>) en altura, pero pudieran resultar factibles diseños peculiares y bien pensados.

### 5.1 Consumos Eléctricos de la plataforma OPOMLI

Al nivel de equipos eléctricos, que presentaremos a continuación en las tablas de consumos que incluiremos a continuación, queremos resaltar el hecho de que se han seleccionado muchos equipos eléctricos, 101 equipos en total, de 30 tipos. Para la gran mayoría, los consumos se han encontrado en las fichas técnicas adjuntadas en el Anexo II.5. Cabe mencionar que se ha intentado seleccionar equipos de bajo consumo, sin embargo, cuando había incertidumbre sobre las potencias de consumo, se ha hecho una estimación conservadora. También hemos sido conservadores haciendo estimaciones de tiempos de funcionamiento de dichos equipos muy conservadoras para que el consumo diario eléctrico de la

plataforma sea consecuente. De esta manera, hemos conseguido que sea un reto abastecer todos los consumos mediante una instalación de energía renovable de pequeña escala, limitada en superficie y totalmente aislada de la red, sin considerar respaldos de grupos electrógenos usando combustible fósil.

UBICACIÓN EQUIPOS	EQUIPOS ELECTRICOS POTENCIA	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA EQUIPOS SELECCIONADO	CARGA UNITARIA [W]	NÚMERO DE EQUIPOS [UD]	CARGA TOTAL CONCEPTO [W]	FACTOR DE UTILIZACIÓN [%]	HORAS PROMEDIO DE USO [N]	CONSUMO DIARIO PROMEDIO [KWH]
EXTERIOR	Luz Exterior (1)	LED SLIM 10W IP65	10	4	40	25,0%	6	0,24
EXTERIOR	Luz Exterior (2)	Foco LED empotrable suelo 6W IP67	6	20	120	25,0%	6	0,72
EXTERIOR	Luz Exterior (3)	LED Balizas 10,5 W IP65	10,5	12	126	50,0%	12	1,512
INTERIOR CONTENEDORES	Luz interior (1)	Luminaria suspendida lineal Trilux 30W	30	10	300	63%	15	4,5
INTERIOR CONTENEDORES	Luz interior (2)	Luminaria Empotrada Trilux 15W	15	10	150	63%	15	2,25
INTERIOR CONTENEDORES	Luz interior (3)	Lamparás LED bajo consumo varias	5	5	25	63%	15	0,375
EXTERIOR	Luz Exterior posicionamiento plataforma	Luz de Navegación / Posición	60	3	180	50%	12	2,16
LOCAL TECNICO	Computadoras fijas	Computadoras fijas (Siempre en funcionamiento)	200	1	200	100%	24	4,8
LAB	Computadoras fijas	Computadoras fijas (De uso durante el día)	200	2	400	50%	12	4,8
LAB + LOCAL TECNICO	Computadoras Portátiles	Computadoras fijas (De uso durante el día)	65	5	325	50%	12	3,9
LAB	Microscopios electrónicos	Microscopio Industrial tipo NIKON LV-N	75	2	150	30%	7,2	1,08
LAB + LOCAL TECNICO	Pantallas / televisor LCD mural para monitoreo red	SAMSUNG 138cm 55" OLED	66	2	132	50%	12	1,584
LOCAL TECNICO	Servidor almacenamiento datos	Servidor powerEdge T340	350	1	350	100%	24	8,4
COCINA	Frigorífico	tipo A+++ 175kwh/año	19,98	1	19,98	100%	24	0,477
COCINA	Micro - ondas	Micro - ondas	1200	1	1200	2,08%	0,5	0,6
COCINA	Máquina de café	Máquina de café	550	1	550	2,08%	0,5	0,275
COCINA	Hervidor Agua	Hervidor Agua	1000	1	1000	2,08%	0,5	0,5
ALMACEN	Secador eléctrico de Baño / Neoprenos	Electrical Heating Source	300	1	300	15%	3,6	1,08
	Secador eléctrico de Baño / Neoprenos	Ventilation	200	1	200	50%	12	2,4
LAB	Aquarium bombas circulación aire - Aquarium tipo 400L	bomba Tunze 6055 - low consumo	18	2	36	100%	24	0,864
LAB	Aquarium bombas circulación vertical - Aquarium tipo 400L	bomba flujo vertical Jembao DCP3000	25	2	50	100%	24	1,2
	Aquarium luz de día - Aquarium tipo 400L	Luz Led Hydra 26hd	82	2	164	50%	12	1,968
	Aquarium bomba skimmer - Aquarium tipo 400L	Bomba skimmer quantum 160 bajo consumo	18	2	36	100%	24	0,864
LAB + COCINA	bomba agua sanitaria	bomba agua sanitaria (estimación)	50	1	50	15%	3,6	0,18
LOCAL TECNICO	Equipos de comunicación	Equipos de comunicación (estimación)	150	1	150	100%	24	3,6
LOCAL BATRÍAS	Ventilación forzada	Ventilación forzada (estimación)	250	1	250	100%	24	6
LAB + LOCAL TECNICO	Ventilación forzada	Ventilación forzada (estimación)	500	1	500	20%	4,8	2,4
LOCAL TECNICO	Estación de Carga múltiple baterías instrumentación autónoma	Carga de baterías de la red de sensores inalámbricos y Rover	300	1	300	30%	0,5	0,15
EXTERIOR	Desalinizadora agua 200L/hora	Desalinizadora Ecosystem	920	1	920	10%	2,4	2,208
EXTERIOR	Cámaras video vigilancia + infrarroja	Tipo ONV524 -DC 12V	5	4	20	100%	24	0,48
		TOTAL		101	8243,9	Wn	y kwh diario	61,6

EQUIPOS	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA EQUIPO SELECCIONADO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
LUZ EXTERIOR (1)	LED SLIM 10W IP65	0	0	0	0	0	40	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	40	40	40	0	0
LUZ EXTERIOR (2)	Foco LED empotrable suelo 6W IP67	0	0	0	0	0	120	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	120	120	120	0	0
LUZ EXTERIOR (3)	LED Balizas 10,5 W IP65	126	126	126	126	126	126	126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126	126	126	126	126
LUZ INTERIOR (1)	Luminaria suspendida lineal Trilux 30W	0	0	0	0	0	0	0	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	0	0
LUZ INTERIOR (2)	Luminaria Empotrada Trilux 15W	0	0	0	0	0	0	0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	0	0
LUZ INTERIOR (3)	Lamparás LED bajo consumo varias	0	0	0	0	0	0	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	0	0
LUZ EXTERIOR POSICIONAMIENTO PLATAFORMA	Luz de Navegación / Posición	180	180	180	180	180	180	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180	180	180	180	180
COMPUTADORAS FIJAS	Computadoras fijas (Siempre en funcionamiento)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
COMPUTADORAS FIJAS	Computadoras fijas (De uso durante el día)	0	0	0	0	0	0	0	0	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	0	0	0	0
COMPUTADORAS PORTÁTILES	Computadoras fijas (De uso durante el día)	0	0	0	0	0	0	0	0	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	0	0	0	0
MICROSCOPIOS ELECTRÓNICOS	Microscopio Industrial tipo NIKON LV-N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	150	150	150	150	150	150	0	0	0	0	0	0
PANTALLAS / TELEVISOR LCD MURAL	SAMSUNG 138cm 55" OLED	0	0	0	0	0	0	0	0	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	0	0	0
SERVIDOR ALMACENAMIENTO DATOS	Servidor powerEdge T340	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
FRIGORÍFICO	tipo A+++ 175kwh/año	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98
MICRO - ONDAS	Micro - ondas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MÁQUINA DE CAFÉ	Máquina de café	0	0	0	0	0	0	0	0	137.5	0	0	0	0	0	0	0	137.5	0	0	0	0	0	0	0
HERVIDOR AGUA	Hervidor Agua	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0
SECADOR ELÉCTRICO DE BAÑO / NEOPRENOS	Electrical Heating Source	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	300	300	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SECADOR ELÉCTRICO DE BAÑO / NEOPRENOS	Ventilation	0	0	0	0	0	0	0	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	0	0	0	0
AQUARIUM BOMBAS CIRCULACIÓN AIRE - AQUARIUM TIPO 400L	bomba Tunze 6055 - low consumo	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
AQUARIUM BOMBAS CIRCULACIÓN VERTICAL - AQUARIUM TIPO 400L	bomba flujo vertical Jembao DCP3000	0	0	0	0	0	0	0	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	0	0	0	0	0
AQUARIUM LUZ DE DIA - AQUARIUM TIPO 400L	Luz Led Hydra 26hd	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

AQUARIUM BOMBA SKIMMER - AQUARIUM TIPO 400L	Bomba skimmer quantum 160 bajo consumo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	30	0	50	0	0	0	0	0
BOMBA AGUA SANITARIA	bomba agua sanitaria (estimación)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN	Equipos de comunicación (estimación)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
VENTILACIÓN FORZADA	Ventilación forzada (estimación)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500	500	500	500	400	0	0	0	0	0	0	0	0
VENTILACIÓN FORZADA	Ventilación forzada (estimación)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESTACIÓN DE CARGA MÚLTIPLE BATERÍAS INSTRUMENTACIÓN AUTÓNOMA	Carga de baterías de la red de sensores inalámbricos y Rover	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	920	920	368	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DESALINIZADORA AGUA 200L/HORA	Desalinizadora Ecosystem	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
CÁMARAS VIDEO VIGILANCIA + INFRARROJA	Tipo ONV524 -DC 12V																								
	Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	Curva de carga total	1418	1418	1418	1418	1418	1578	1578	1951	3245	2808	3728	4678	4326	4358	3638	3388	3345	3008	2968	2910	2053	2053	1418	1418
	Curva de carga suponiendo 10% perdidas del sistema de generación y los convertidores (cableado, electrónica de conversión, autoconsumos del tracker)	1560	1560	1560	1560	1560	1736	1736	2146	3570	3089	4101	5146	4759	4794	4002	3727	3680	3309	3265	3201	2258	2258	1560	1560

Tabla 8: Tablas de consumo eléctrico plataforma OPOMLI.

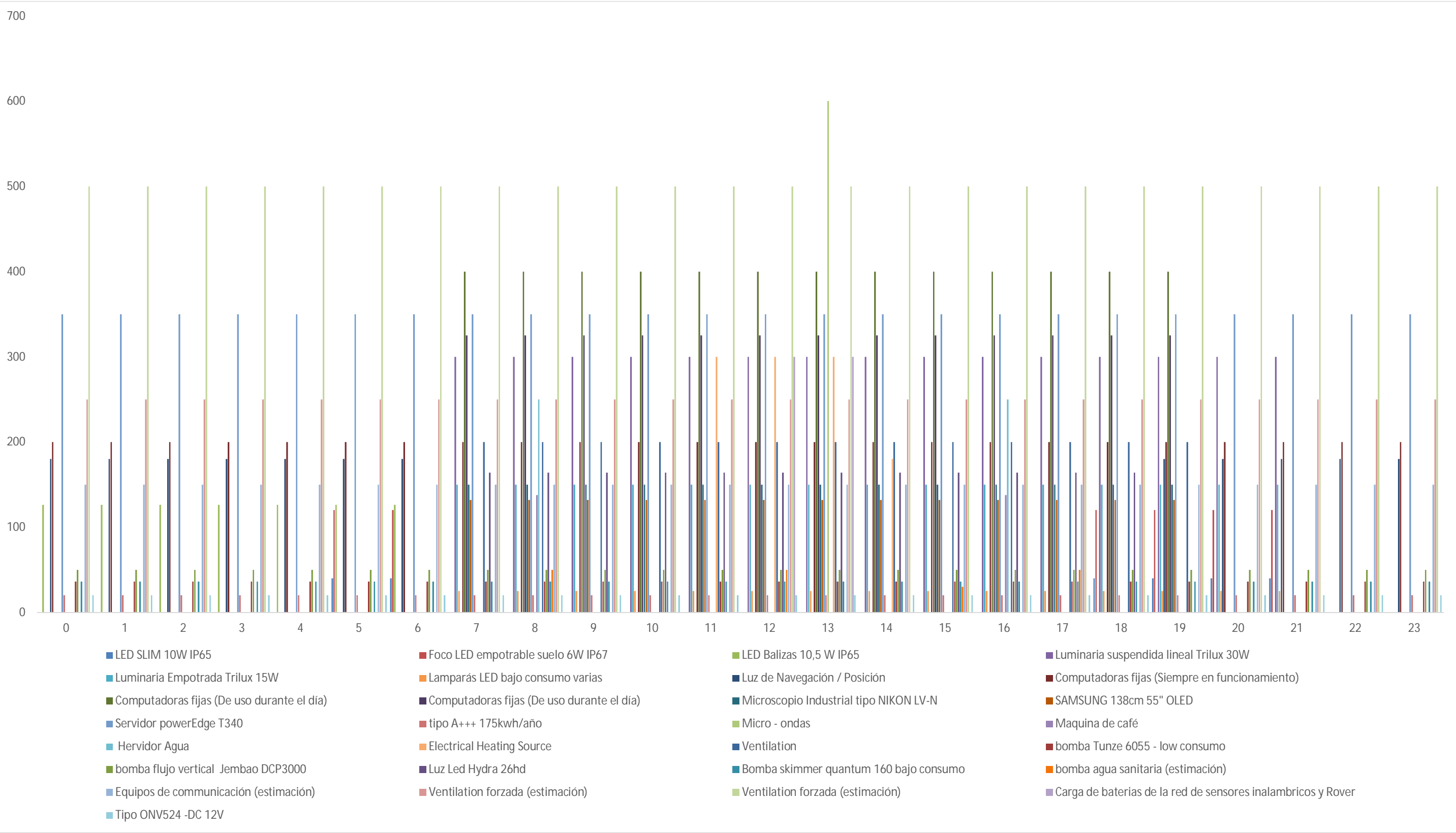


Figura 24: Perfil horario consumos eléctricos instalación eléctrica OPOMLI Réunion – consumos por equipos.



### Curva diaria de consumos eléctricos:

En base al estudio anterior, podemos trazar la curva diaria típica de consumos eléctricos de la plataforma OPOMLI que usaremos como base de la modelización energética de la estación OPOMLI:

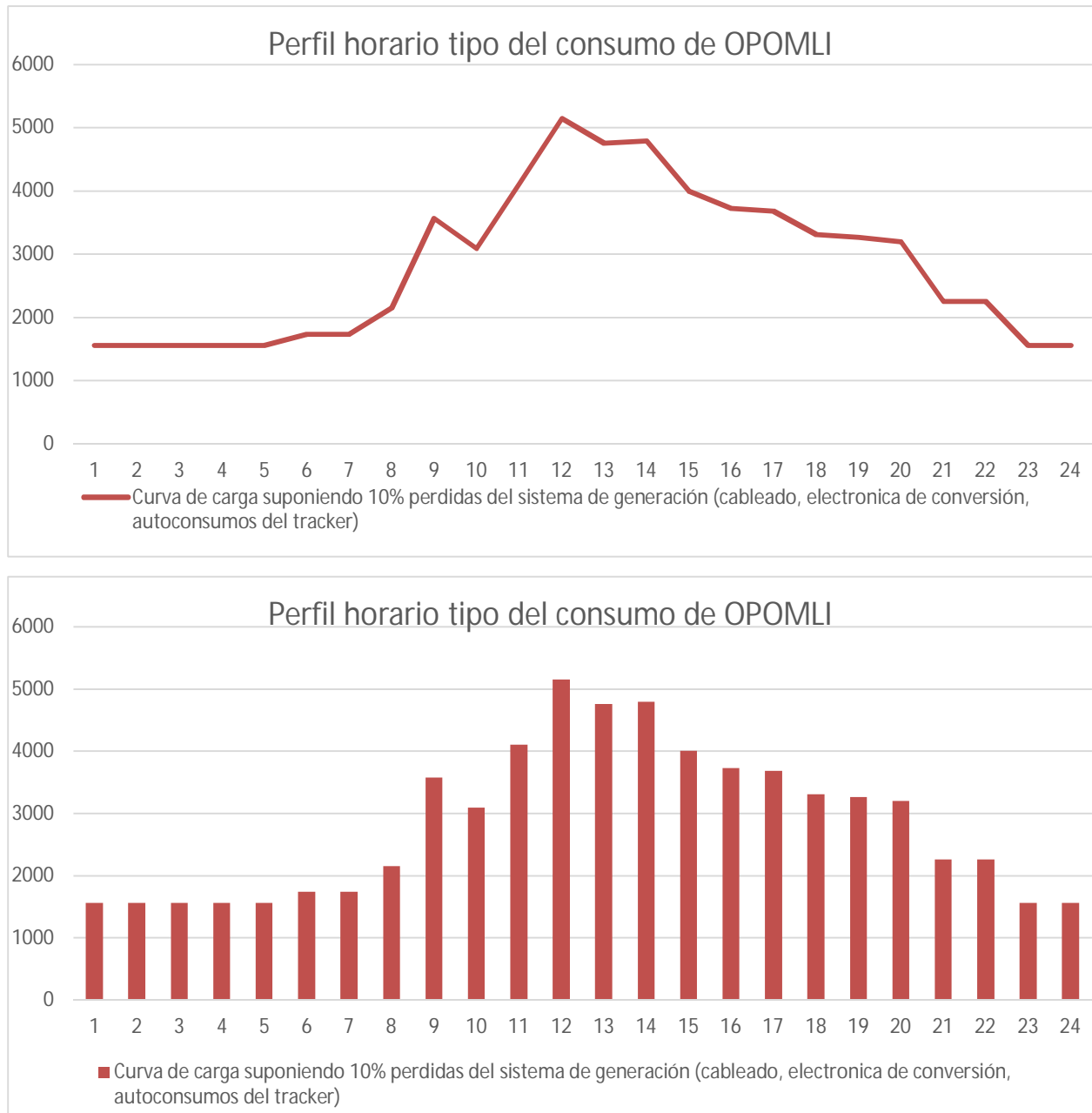


Figura 25: Perfil horario consumos eléctricos instalación eléctrica OPOMLI Réunion – Consumo horario total de la plataforma

### Comentario sobre los resultados del estudio anterior:

Si comparamos los consumos eléctricos de la estación OPOMLI con respecto a los consumos de una vivienda española según REE [26], vemos que al nivel de potencia nominal de los equipos estamos casi al nivel de una vivienda de electrificación Elevada (8200Wn para OPOMLI contra 9200Wn para una vivienda de electrificación Elevada). Sin embargo, debido al uso intenso de los aparatos eléctricos en la plataforma, la energía diaria kwh/día es 4 veces superior para la plataforma OPOMLI. A continuación, presentamos la tabla resumen comparativa de consumos en potencia nominal y energía de la estación OPOMLI con respecto a los datos de Red Eléctrica Española:

Comparativa Consumos Eléctricos OPOMLI vs vivienda española	Potencia Nominal [W]	Energía diaria [kwh/día]	Energía anual [kwh/año]	fuelle
Electrificación básica vivienda	5750	9.55	3487	REE
Electrificación Elevada vivienda	9200	15.29	5579.2	REE
Plataforma OPOMLI	8243.9	61.57	22472.8	Según cálculo

Tabla 9: Comparativa consumos eléctricos estación OPOMLI vs Vivienda española.

En una óptica de simplificación del trabajo de modelización, en un principio, supondremos que las cargas eléctricas son iguales todos los días del año.

### 5.2 Filosofía del diseño de instalaciones eléctricas de producción energética de la plataforma OPOMLI

En este apartado, pretendemos definir la filosofía y las etapas del diseño energético de la plataforma OPOMLI. Queremos señalar que el objetivo de este apartado es explicar la filosofía que hay tras el diseño. En ningún caso pretendemos que sea un guía de diseño, ni que sea exhaustivo a la hora de describir los pasos de diseño mediante programas de diseño solar fotovoltaico asistido por ordenador.

Hemos visto en el capítulo anterior que hemos seleccionado los equipos eléctricos, así como un perfil horario de funcionamiento bastante conservador. En efecto, nuestro propósito es demostrar la factibilidad del abastecimiento energético de la plataforma únicamente instalaciones productivas de energía renovable. Entendemos claramente que las instalaciones resultando del diseño no serían optimizadas de un punto de vista técnico-económico, pero nos interesa realizar el desarrollo del proyecto de esta manera para reflexionar sobre las opciones de diseño que tenemos.

### 5.2.1 La ecuación fundamental de la conservación de la energía

El diseño de la red aislada en base a fuentes de energía renovable no es una tarea sencilla debido a la variabilidad de las fuentes de energía renovable, buscando el equilibrio entre consumo y generación, las baterías permitiendo el almacenamiento de la energía producida sobrante y su restitución en momentos de valle de generación. Lo más importante a tener muy claro, cuando se diseñan este tipo de sistemas, es que, en todo momento (que el escalón temporal sea de un segundo, una hora, un mes...), la física dice que se respeta el principio fundamental de conservación de la energía:

$$E_{gen\_avail} = E_{user} + E_{bat} \quad (7)$$

donde:

$E_{gen\_avail}$  es la energía generada disponible (una vez restado las pérdidas de conversión) entre  $t_0$  y  $t$ . Ósea, hay que entender la energía utilizable.

$E_{user}$  es la energía disponible para sustentar las cargas eléctricas del cliente entre  $t_0$  y  $t$

$E_{bat}$  es la energía de carga de la batería (de signo +) u descargada si es de signo negativo entre  $t_0$  y  $t$ .

Este principio siempre se cumple, si al nivel eléctrico, estamos dentro de los parámetros de funcionamiento de los equipos, en todo momento. Si salimos de los parámetros de funcionamiento ( $U_{min}$ ,  $U_{max}$ ,  $I_{max}$ ,  $SOC_{max}$ ) de la batería, pues los interruptores que protegen la batería se abren y hay un déficit de energía (en el caso de que la batería baje a un SOC inferior al 10%) o una sobre producción en el caso de que la batería este llena ( $SOC > 96\%$  o  $U > U_{max}$ ). En este caso, la intervención de otros sistemas hace que la ecuación sea diferente, aunque siempre se siga cumpliendo la conservación de energía:

$$E_{gen\_avail} + E_{faltante} = E_{load} + E_{bat} + E_{sobrante} \quad (8)$$

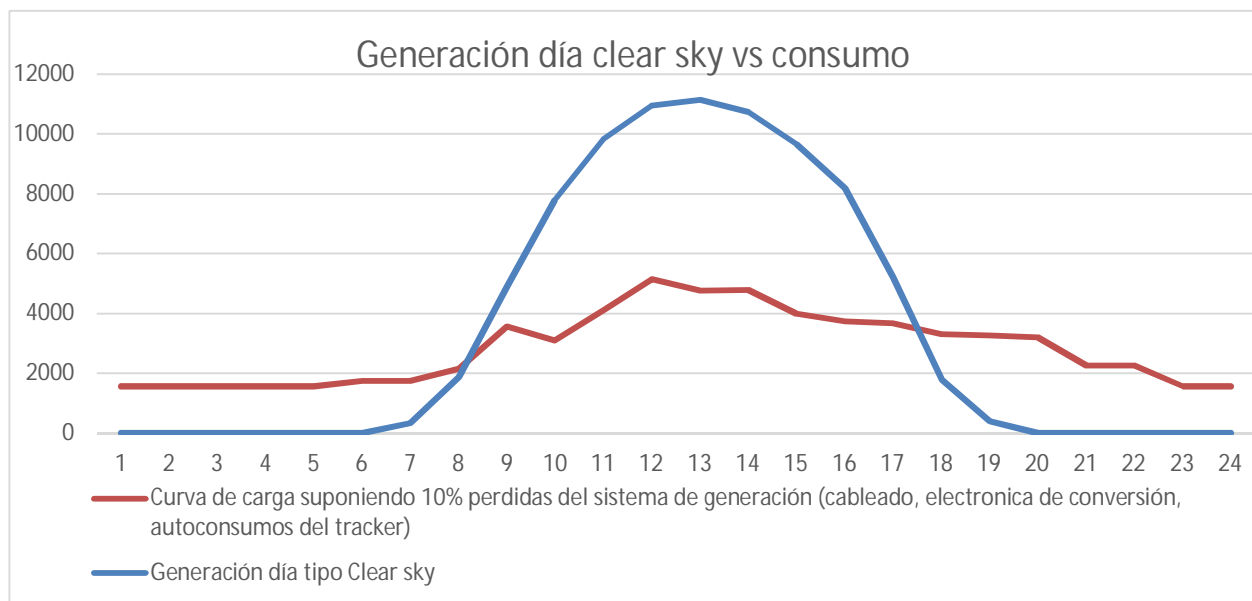
Hemos introducido  $E_{sobrante}$  la energía Sobrante debido a que no pueda seguir en funcionamiento el sistema energético debido a un exceso de generación frente a los consumos y a la posible carga de batería, y  $E_{faltante}$  la energía que falta para satisfacer el consumo energético debido a una falta de generación y de descarga de la batería frente al consumo previsto.

Nota: Las dos ecuaciones anteriores son las mismas, la ecuación de conservación de la energía, solo hemos introducido  $E_{faltante}$  y  $E_{sobrante}$  para poder distinguir entre las energías producibles y las energías producidas, lo cual nos permite evaluar la eficacia del sistema en conjunto comparando la energía producida vs la energía producible.

Nota 2: La ecuación sigue valida si dividimos los dos lados por  $t-t_0$  o  $\Delta t$ , llegando a tener equilibrio de las potencias instantáneas.

### 5.2.2 Instalación Solar fotovoltaica con baterías

En una primera etapa, evaluaremos la posibilidad de abastecer el consumo definido en 5.1 (igual cada día) con un sistema solar fotovoltaico con baterías mediante el programa de diseño PVsyst. Lo primero que haremos es descargar archivos meteorológicos de diferentes fuentes (Solargis, PVgis...) y cargarlos en el programa para obtener un año típico meteorológico. En base al año meteorológico, tras definir una orientación optimizada en azimuth y elevación de los paneles, evaluaremos la producción solar fotovoltaica, intentando que aquella sea mayor en energía anual que el consumo anual y que la energía producida al medio día para un día sin nubes (*Clear sky model*) sea superior al consumo, para que sea posible almacenar energía en las baterías al medio día. Por eso, no es casualidad que se haya realizado una curva de consumo este centrado en una curva de producción solar. A continuación, adjuntamos un gráfico de generación durante un día "clear sky" vs la curva de consumo:



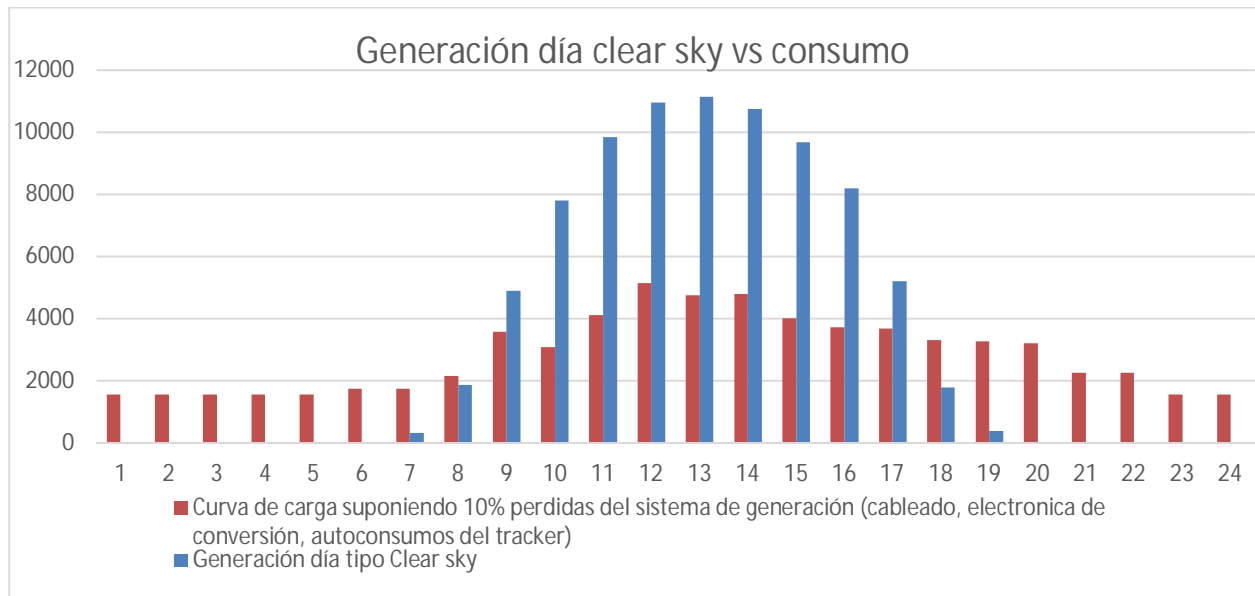
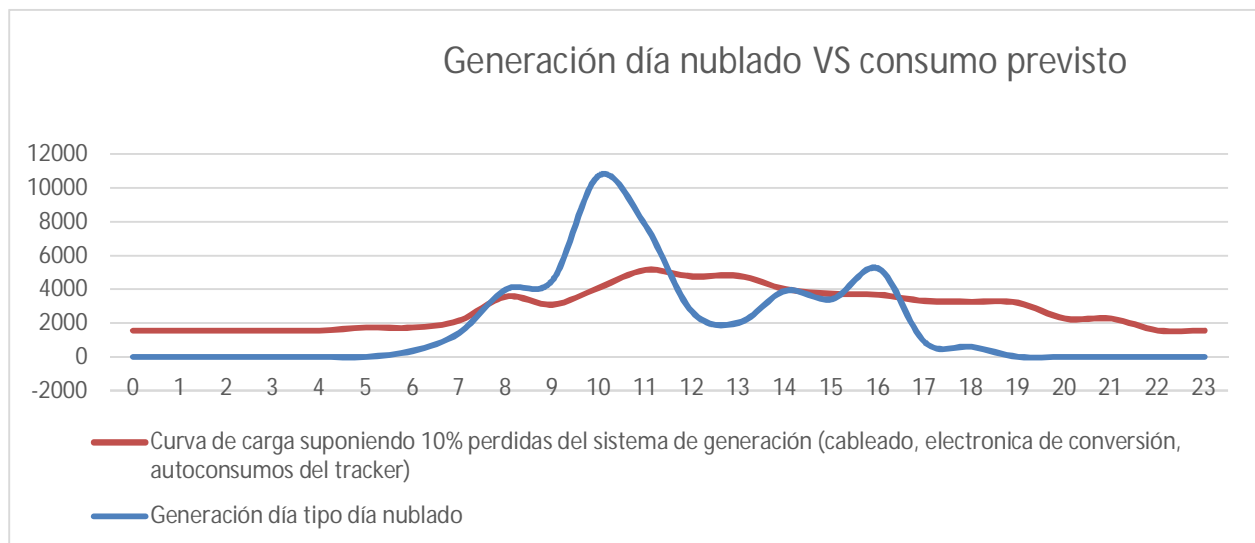


Figura 26: Perfil horario consumos eléctricos OPOMLI y generación solar día (Clear sky)

En la curva anterior se ve que para el día de *clear sky* modelizado, el consumo es superior a la generación entre la 1h y la 8h30, luego la generación es superior al consumo hasta las 17h aproximadamente y por fin el consumo es superior durante la noche. En un día *clear sky*, cuando menos consumo tengamos durante la noche y más consumos durante las horas de sol, menos capacidad de batería necesitamos. Sin embargo, todos los días no son sin nubes, y especialmente en un clima de isla tropical donde las nubes se forman durante el día a medida que la irradiación solar vaya evaporando el agua del mar. Entonces las baterías deben de poder suministrar la energía de unos cuantos días no soleados seguidos. A continuación, presentamos el perfil horario de generación y el perfil horario de consumo durante un día de poca radiación solar:



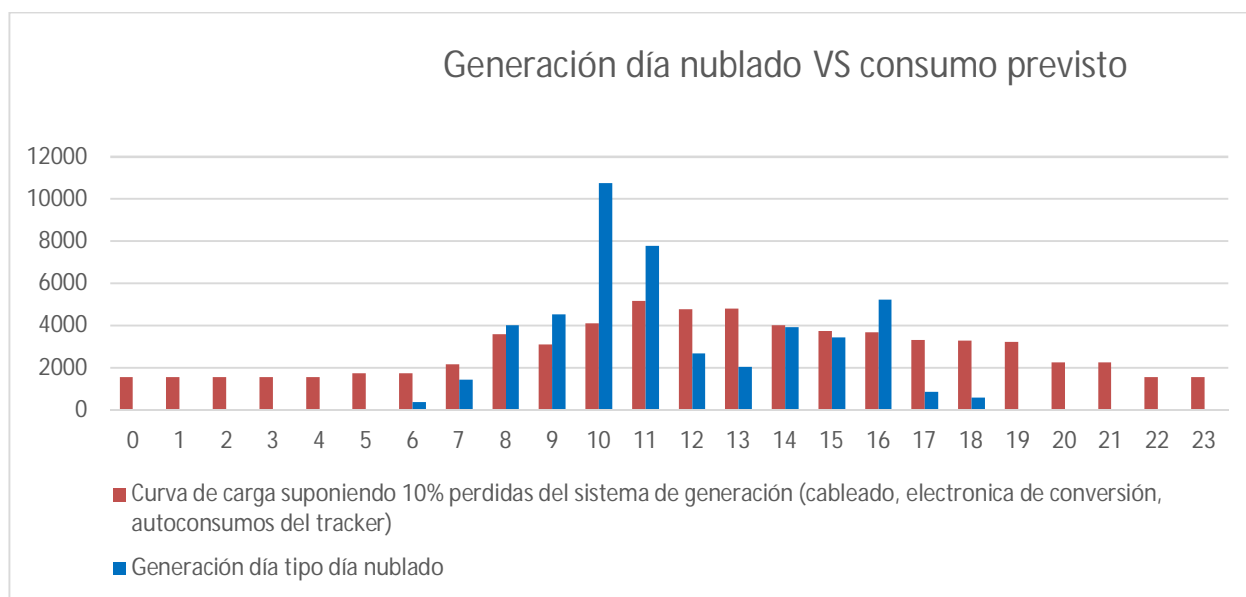


Figura 27: Perfil horario consumos eléctricos OPOMLI y generación solar día nublado.

Como se aprecia en la imagen anterior, en un día nublado, la energía total solar fotovoltaica (integral o superficie debajo de la curva) es inferior al consumo requerido. Por lo tanto, debemos tener en consideración que las baterías deben de poder suministrar energía para días seguidos con mal recurso solar como el presentado anteriormente.

Nota: Los días presentados de generación corresponden al 26/01 (*clear sky*) y 27/01 (nublado) del diseño resultando de nuestro análisis con PVsyst en base al Año TMY de Solargis.

Una vez que hemos probado varias configuraciones y que hemos llegado a la generación fotovoltaica deseada, debemos de dimensionar las baterías. El análisis que se realiza es un análisis estadístico en base al año meteorológico y la instalación solar ya dimensionada, donde se tiene en cuenta el número de días de autonomía que se requiere, y se establece una probabilidad de que el consumo no pueda ser suministrado por falta de energía. Visto la cantidad de energía requerida por nuestro sistema, seleccionaremos la batería de mayor capacidad que encontramos en la base de datos del programa, la batería POWER WALL 2 de Tesla inc. Dichas baterías tienen una capacidad de 268 A.h a un voltaje nominal de 50.5V, lo cual corresponde a 13,034wh de energía. Haciendo un cálculo rápido, sin considerar la eficiencia de un ciclo de carga/descarga de la batería, necesitaríamos 4.56 baterías POWER WALL 2 para suministrar toda la energía diaria que consume la plataforma cuando la generación es igual a 0, y 22.8 baterías para una autonomía de 5 días sin consumo. Realizando el análisis estadístico en PVsyst, necesitaríamos 14 baterías para una autonomía de 5 días con una probabilidad de satisfacer el consumo del 95%.



### 5.2.2 Agregación de fuente eólica y gestión de carga al sistema solar con baterías

Al nivel económico, siendo las baterías lo más caro que hay, y sabiendo que cada batería pesa unos 100 kilos, no resulta factible diseñar la instalación energética con 14 baterías. Por lo tanto, probaremos con 4 baterías. Una vez tenemos los resultados de producción, consumo, energía sobrante y faltante de PVsyst, intentaremos reducir el desequilibrio entre el consumo y la producción de dos maneras. La primera es incluir unas mini-eólicas, sin que estas sean preponderantes al nivel de producción, pero lo suficiente para que puedan suministrar 1-1.5 kW a velocidad óptima de viento para aliviar las baterías cuando hay unos cuantos días seguidos de depresión atmosférica, donde no hay mucho sol, pero si viento.

Por último, lo que no nos permitía el PVsyst haciendo variar el consumo diario, lo haremos nosotros mediante la creación de una hoja Excel donde añadiremos a los resultados de generación de PVsyst la generación eólica y calcularemos los estados de carga de las baterías, ajustando un algoritmo creado en esta ocasión para variar el consumo cuando el estado de carga de la batería no es suficiente para que la utilizadora siga usando la energía como si fuera ilimitada. Esta última etapa se presentará en el capítulo 6.

Nota: Creemos firmemente, que, para realizar una transición energética menos carbonada, es necesario que el utilizador reduzca sus consumos, pero esto se ve claramente a través de este trabajo, ya que sin estrategia de “demand management” la instalación aislada dejaría de suministrar energía suficiente para las cargas definidas un 7.4%. Por el otro lado, la integración de grandes parques eólicos y fotovoltaicos en países donde todavía hay crecimiento de la demanda puede que tenga el efecto contrario, por efecto “Rebound”.

### 5.3 Dimensionamiento preliminar Solar fotovoltaico con baterías (PVsyst)

Realizaremos a continuación el dimensionamiento preliminar solar fotovoltaico de la plataforma OPOMLI en su ubicación prevista OPOMLI Réunion, ver figura 24. A continuación volvemos a presentar las coordenadas UTM de la plataforma OPOMLI Réunion:

Zona: 40 K

Longitud: 315258.95 m E

latitud: 7667242.36 m S

Las condiciones climáticas globales representativas del emplazamiento se presentan en la tabla siguiente:

VARIABLES CLIMÁTICAS		
País	Réunion, France	---
Rango de Temperatura diaria	19/33	°C
Elevación	2,5	m
Precipitación	1504	mm/año
Radiación Solar horizontal– valor máximo	8,8	kWh/m <sup>2</sup> /día
Radiación Solar – Máximo hora/día	13	h
Radiación Solar – Mínimo hora/día	11	h
Humedad relativa – Máxima	100	%
Humedad relativa – Mínima	47	%
Velocidad de Viento – Promedio	5,78	m/s
Fuente datos	Climate data. Org ; Meteonorm NASA ; Solargis	

Tabla 10: Resumen de características climáticas emplazamiento.

El clima del emplazamiento OPOMLI Reunion en la costa oeste de la Réunion es Tropical cálido. Los meses de lluvia ocurren en verano (Diciembre – Marzo), en los cuales es habitual que una a varias perturbaciones meteorológicas (tormentas tropicales y huracanes) vengán a perturbar un tiempo que suele ser soleado hasta la tarde y lluvioso en el final de la tarde. La temperatura promedio es de 23°C y las precipitaciones anuales son de 1504mm/año.

### 5.3.1 Datos climáticos

El modelo de planta solar a evaluar se basa en la conversión de la radiación solar incidente sobre una superficie de interceptación lo más perpendicular posible a los rayos solares incidentes a lo largo de un día solar y en todo su recorrido, acimutal y polar.

En este caso, se ha optado por la instalación de paneles policristalinos de silicio montados sobre una estructura de soporte con seguidor a un eje Norte-Sur, inclinado, y monofila (3 filas en total como presentado en el modelo arquitectónico), aunque también se realizara una modelización con paneles de orientación fija y otra con orientación fija estacional, lo cual significa que en verano los paneles tienen una inclinación y otra en invierno.

Para el estudio de recurso solar, utilizaremos el programa de diseño fotovoltaico PVsyst. El primer paso es seleccionar datos climáticos, que reflejan la irradiación solar de los últimos años monitorizados. No entraremos en los detalles técnicos de cómo se obtienen los datos, sin embargo queremos señalar al

lector que a diferencia de modelos “*clear sky*” que se pueden computar con un algoritmo de seguimiento de la curva solar, los archivos TMY se obtienen tras el análisis de algoritmos complejos tomando en cuenta muchas variables físicas medidas por satélites sobre el periodo de validez de las campañas de satélites, así que una modelización de las capas atmosféricas, y los resultados obtenidos están contrastados con datos medido en tierra. Una vez el modelo validado con respecto a los datos medidos en tierra, se realizan cálculos estadísticos y se crea una serie nueva de datos (un año TMY), cuyas características intentan reproducir un año promedio de irradiación solar. Lo más usual para el desarrollo de proyectos solares de gran escala es utilizar las fuentes de archivos TMY como input del análisis.

### Base de datos climáticos y archivos TMY

Para el estudio del recurso se ha utilizado el programa de cálculo de PVsyst, con las diferentes bases de datos de recurso siguiente:

- Datos Meteoronorm 7.1 (1991-2010). Fichero TMY importado por PVsyst. Datos interpolados procedentes de estaciones terrestres.
- Datos SolarGis (1999-2016). Datos mensuales y fichero TMY proporcionado por la empresa SolarGis. Datos procedentes de mediciones por satélite.
- Datos NASA SSE(1983-2005). Datos mensuales y fichero TMY proporcionado por la NASA
- Datos PVGIS SARA (2005-2015). Hourly data calculados en base a datos procedentes de medición por satélites.

El Año Meteorológico Típico (TMY, *Typical Meteorological Year* en inglés) recoge los distintos valores meteorológicos obtenidos a lo largo de un año hipotético constituido por una serie temporal promedia de todos los años disponibles en la base de datos de fuente satelital.

Como comentábamos un algoritmo propietario recompila todos los datos disponibles de la base de datos, hace un promedio mensual de todos los años disponible y luego crea una serie horaria anual (8760 puntos), cuya suma llega al promedio mensual y creando variaciones factibles según los hallazgos del análisis de datos reales (sucesión de días con poco sol, variación de radiación temporal...) para obtener una serie de datos que representa con fiabilidad (eso por lo menos es lo que se pretende, existen varios estudios que prueban la fiabilidad de los *software* y algoritmos en base a datos medidos in situ por un lado y por metodología algorítmica por el otro lado) las características meteorológicas del emplazamiento estudiado. Los datos proporcionados permiten modelar el comportamiento de las plantas fotovoltaicas más representativo a largo plazo que usando los valores de un determinado año o valores medios mensuales. Notar que existen otras maneras de obtener un TMY en base a datos brutos, PVsyst como SolarGis, PVGis o SAM tienen soluciones propietarias para realizar estas operaciones y no suelen ser compatibles. A veces como es el caso de PVgis (Programa de la UE) o HOMER (programa del organismo gubernamental de Energía de Estados Unidos), sus programas solo funcionan con los datos obtenidos por

“sus” satélites NASA o ES. A continuación, presentamos una comparativa mensual de la irradiación global horizontal obtenida para las 4 series de datos:

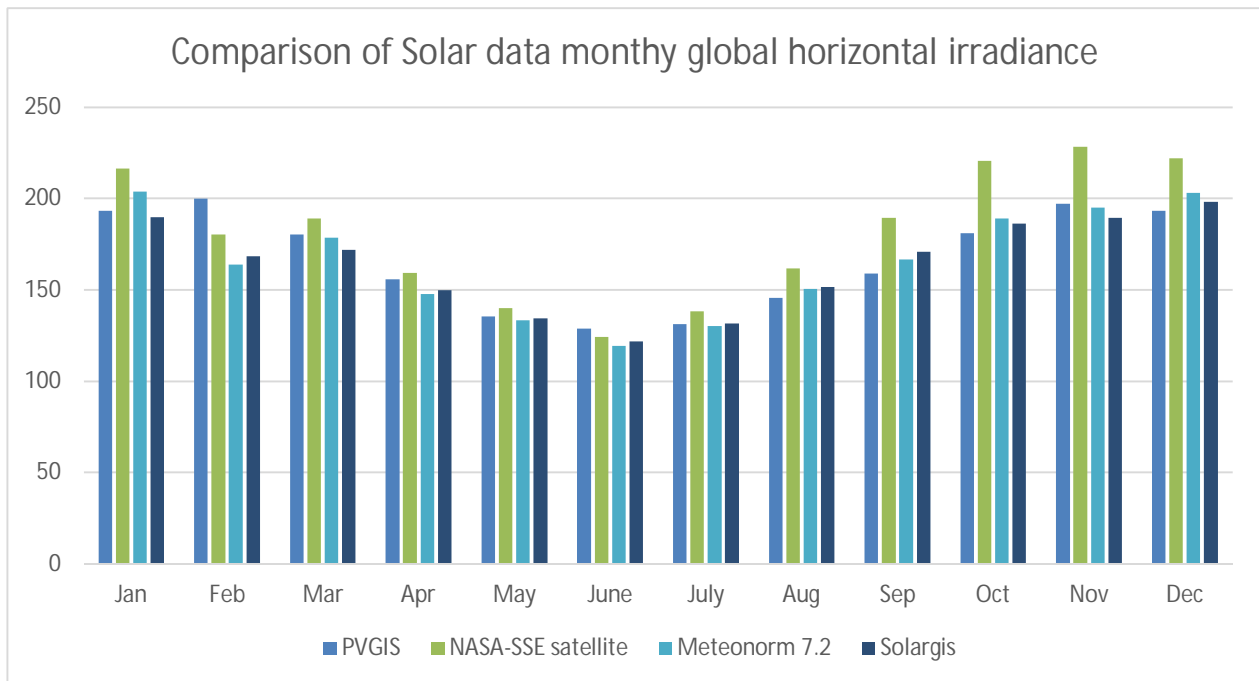


Figura 28: Comparativa de las series de datos a nuestra disposición

Visto el gráfico anterior, Solargis es la base de datos que tiene menos irradiación global horizontal anual. Por lo tanto, resulta conservador usar esta base de datos para realizar el desarrollo de nuestro análisis energético. A continuación, presentamos con gráficos, los datos mensuales obtenidos y extraídos del archivo de la base de datos SolarGis para realizar dichos gráficos:

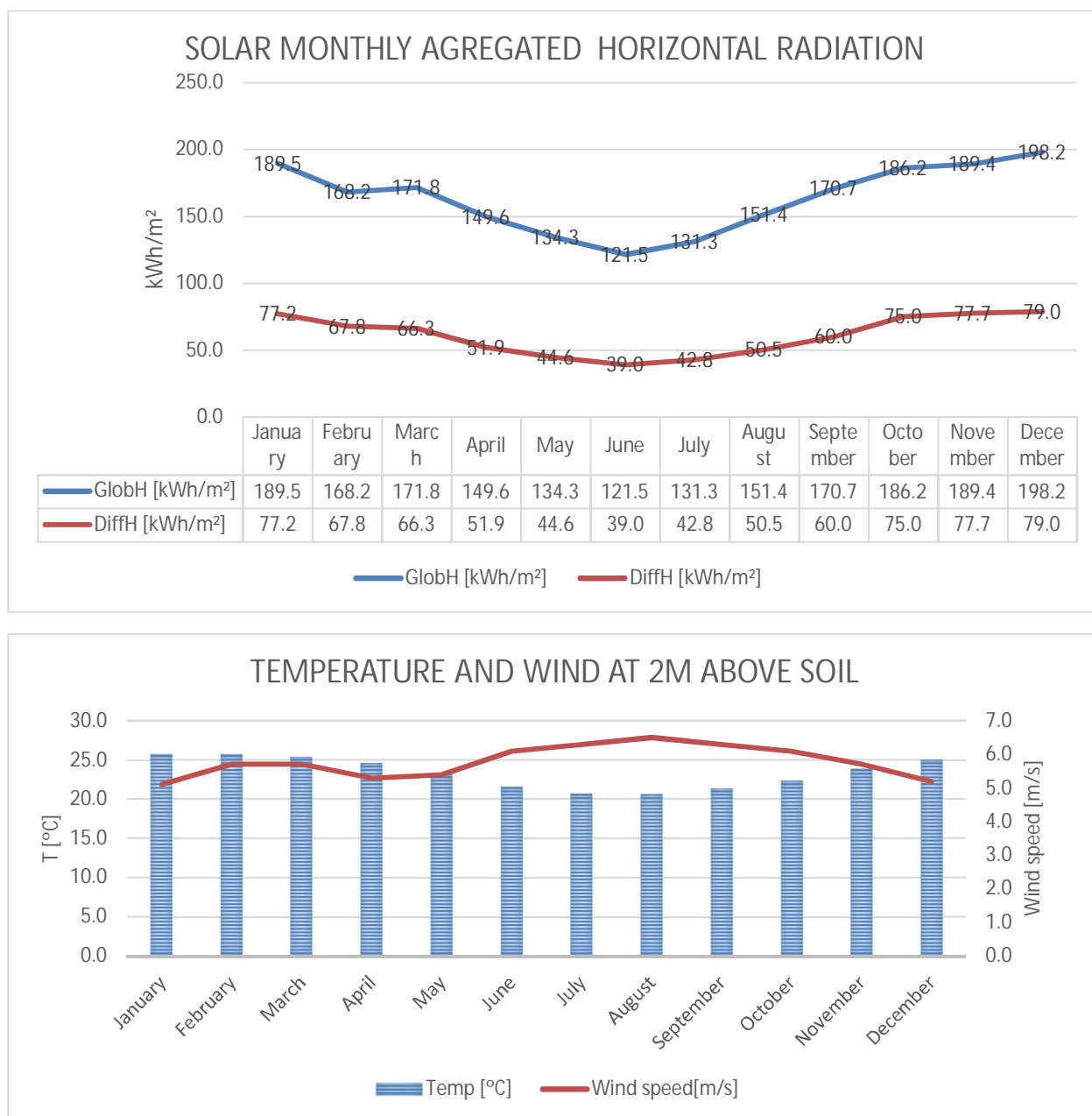


Figura 29: Irradiación solar mensual y variación de T del emplazamiento considerado- OPOMLI Réunion.

De la misma manera, se pueden compilar los datos y presentar serie diarias sobre un año o horarias.

En el anexo 2, presentamos el archivo TMY para algunos días.

### Curvas de Sol y horizonte

Del Este al Oeste mirando hacia el norte, en el caso de OPOMLI Réunion (hubiera sido mirando al sur en el hemisferio Norte), las curvas de horizonte debido a la presencia de montañas pueden afectar la

generación solar tapando la luz directa, especialmente justo después de que se levante el sol y/o justo antes de que se ponga el sol al atardecer. Existen soluciones de *software* que para un punto analicen a 180 grados la orografía para trazar la curva de horizonte, sin embargo, visto la fase preliminar de este ejercicio, hemos seleccionado el punto más alto de la isla hacia el este con azimut a -120 grados y trazamos un perfil de elevación mediante Google Earth para obtener la pendiente que usaremos en el programa PVsyst. A continuación, presentamos el perfil obtenido en Google Earth con el punto más alto culminando a 2100m a 17.8km al este de la estación OPOMLI, más exactamente a -120 ° de acimut:

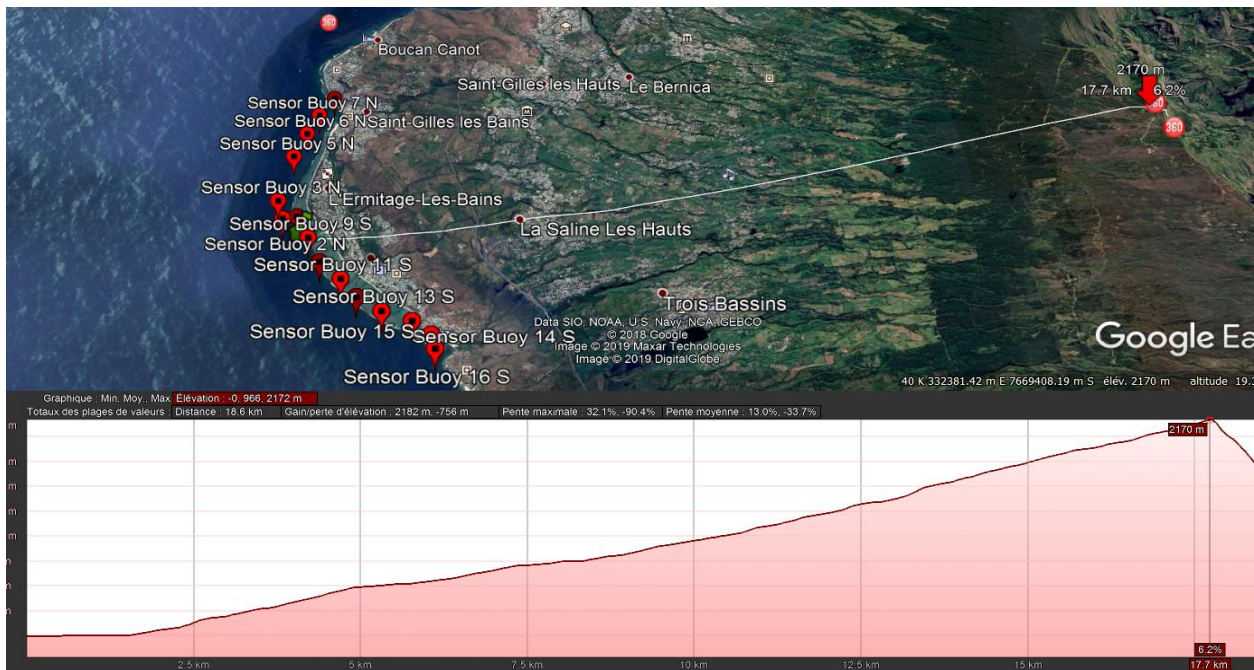


Figura 30: Perfil del terreno a -120° de azimut. Fuente: Google Earth.

A continuación, presentamos la línea de horizonte que hemos entrado en el programa PVsyst:



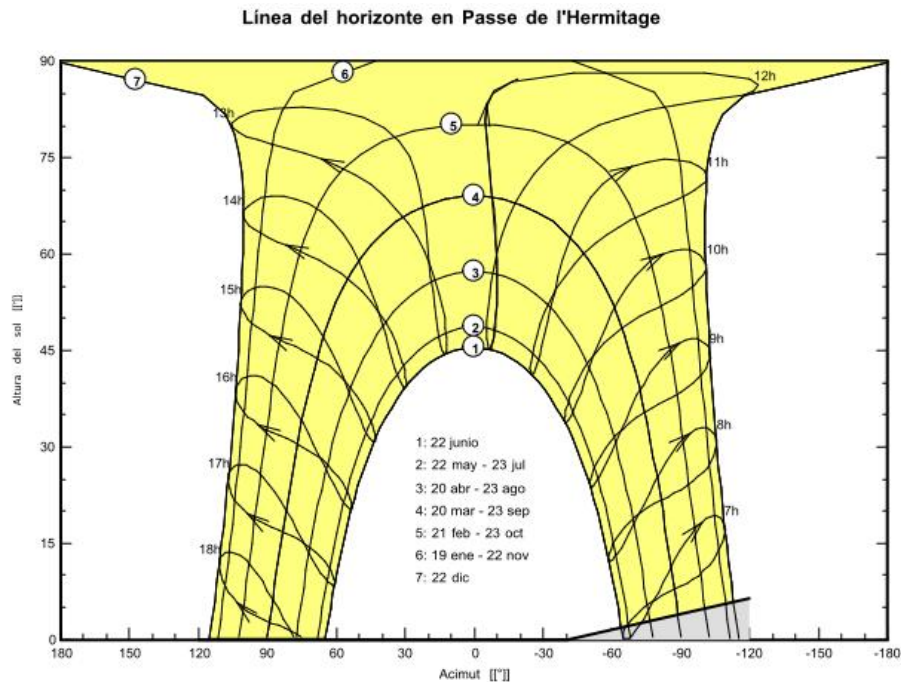


Figura 31: Curva de sol con la curva de horizonte en PVsyst con sombras lejanas.

Nota: Por favor notar que la curva parece divergente alrededor del solsticio de verano (22 de diciembre), pero es solamente un problema grafico que no ha sido bien tratado por el software cuando las curvas de sol se acercan a  $90^\circ$  de elevación. No tiene consecuencias en la modelización.

### 5.3.2 Breve Descripción del dimensionamiento PVsyst y limitaciones

El objetivo de este apartado es la descripción resumida de la reflexión que hemos emprendido en este trabajo. Notar que no pretendemos redactar un guía sobre la realización del dimensionamiento, ni un manual de utilización del programa PVsyst, solo queremos que consten las Etapas claves. Las curvas de consumos eléctricos total son claves para el diseño de una instalación aislada, y las cosas son bastante más complicadas que cuando se vierte toda la energía generada (menos perdidas y autoconsumos) a una red "infinita". Entonces, como ya hemos comentado varias veces, pretendemos usar las curvas de consumo conservadoras de la figura 25 para cada día del año TMY. Luego, visto las condiciones ambientales y la ubicación del proyecto, seleccionamos la posición geométrica de los paneles. Realizaremos un estudio de sensibilidad con respecto a la orientación de los paneles. Hemos seleccionado 3 casos de orientación:

SIMULACIÓN	CARACTERÍSTICA DE LA CONFIGURACIÓN FOTOVOLTAICA	VARIANTE DE CÁLCULO
<ul style="list-style-type: none"> <li>PANELES FIJOS SIN AJUSTE ESTACIONAL</li> </ul>	Acimut 0°, inclinación 40° todo el año	VC0: variante cálculo 0
<ul style="list-style-type: none"> <li>PANELES FIJOS CON AJUSTE ESTACIONAL</li> </ul>	Acimut 0°, inclinación 20° en verano y 40° en invierno	VC1
<ul style="list-style-type: none"> <li>PANELES SOBRE SEGUIDORES UN EJE N/S INCLINADO</li> </ul>	Acimut 0°, Eje inclinado 30° elevación, $\psi = -60^\circ \dots +60^\circ$	VC2

Tabla 11: Resumen de las simulaciones de instalación solar realizadas.

A continuación, presentamos la selección de la orientación realizada en el programa PVsyst:

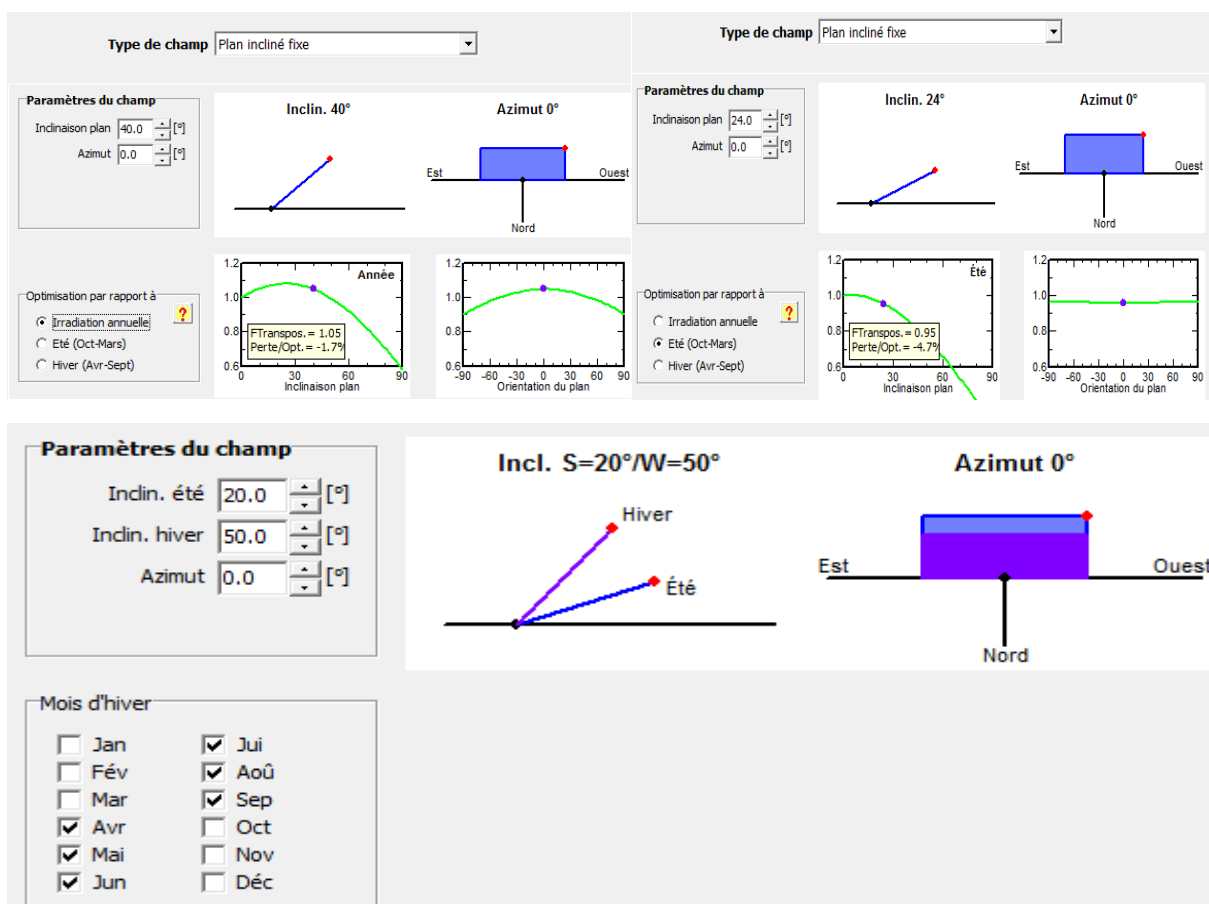


Figura 32: Ejemplo de Diseño paneles fijos orientados con azimuth 0 e inclinación 40° VC0. A la izquierda las curvas de optimización de los ángulos Anual y a la derecha las curvas de optimización de los ángulos para los meses de verano. Abajo el resumen para VC1.

Tras la elección de la geometría, se realizan unas simulaciones simples, sin baterías, eligiendo una tecnología de panel (En este caso hemos ido por los paneles Canadian Solar 410 WPico) para ver cuántos paneles se necesitarían para realizar un balance Neto anual o estacional, es decir cuántos paneles con la configuración geométrica presentada producirían anual o estacionalmente (según lo que se plantea) toda la energía que vayamos a utilizar respecto al perfil de consumos. En este caso obtenemos 28-30 paneles CS 410 HP. Sin embargo, anticipando el hecho de que habrá pérdidas en el sistema de almacenamiento (Eficiencia, SOC>96% batería llena y SOC<10% batería vacía), y que será mejor sobre dimensionar el sistema fotovoltaico para que la producción no sea deficiente en invierno, se elevará el número de paneles seleccionados para nuestro dimensionamiento.

La Selección de la batería es bastante clave, y como hemos comentado es el factor limitante al nivel técnico. Si añadimos al factor técnico el factor económico, de lejos las baterías son los equipos más limitantes para el diseño.

En nuestro caso, hemos seleccionado las baterías con mayor capacidad (13.5 kwh) para aplicaciones aisladas disponibles en la biblioteca de PVsyst, la batería Power Wall 2 (ver ficha técnica-comercial en anexo 1). Luego seleccionamos el número de baterías necesario para almacenar X días sin sol, X siendo un parámetro de diseño, y realizamos un análisis que toma en cuenta el número X seleccionado, los datos climáticos TMY y la selección anterior de módulos fotovoltaicos y baterías, así como la probabilidad de no poder satisfacer la demanda eléctrica. Se ajusta la potencia solar fotovoltaica pico (en condiciones STC) de la planta en función del número de baterías seleccionadas mediante una herramienta de optimización en PVsyst:

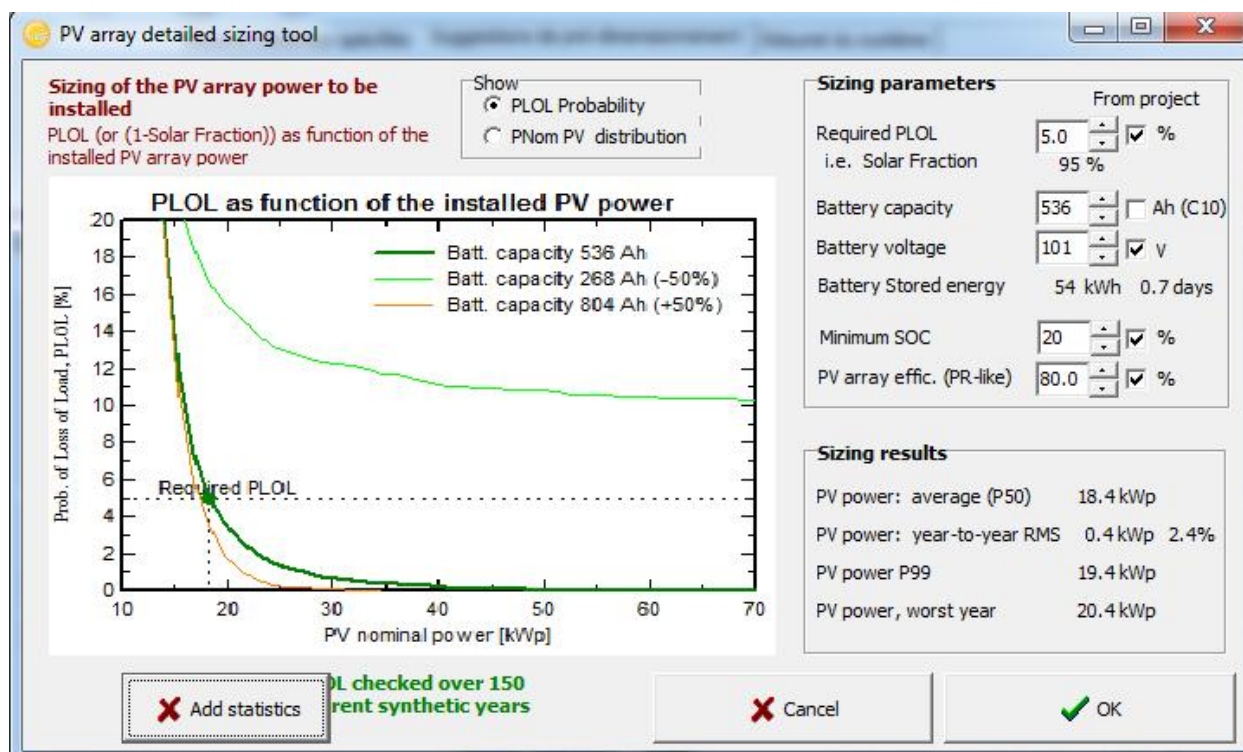


Figura 33: Herramienta de optimización de la potencia pico de la planta solar vs la probabilidad de no satisfacer la demanda.

Tras este análisis, resulta que, para tener 4 días de autonomía de la plataforma, visto el recurso disponible en el emplazamiento y con una probabilidad de que los consumos no puedan ser abastecidos del 5%, se necesitarían 14 baterías Tesla Power Wall 2, según el análisis preliminar y 34 paneles en el escenario de simulación 1. Conociendo el factor limitante de las baterías sobre la factibilidad económica de la plataforma, decidimos proceder de la manera siguiente:

- Aumentamos la producción fotovoltaica de 34 paneles hasta 42 para llenar las baterías.
- Limitamos el almacenaje mediante 4 baterías.
- Centramos la curva de consumos sobre la curva de producción solar “clear sky” para que la instalación fotovoltaica cargue las baterías a la vez que suministre el máximo consumo (al medio día).

Luego se realiza una serie de ajustes para que los parámetros de todos los equipos sean compatibles entre ellos en términos de rango de voltaje de funcionamiento, de potencia máxima entregable etc... Realizando estos ajustes y visto las pocas alternativas a las baterías *Power-Wall 2* de Tesla, es más factible cambiar la selección de paneles, así como el arreglo de los paneles para llegar al rango de voltaje deseado. También se debe de seleccionar los reguladores de carga/descarga y voltaje en conjunto. Se estudian las características de funcionamiento de las baterías para conocer el rango de Voltaje en el cual funcionan. A continuación, presentamos las curvas  $V=F(\text{SOC})$ :

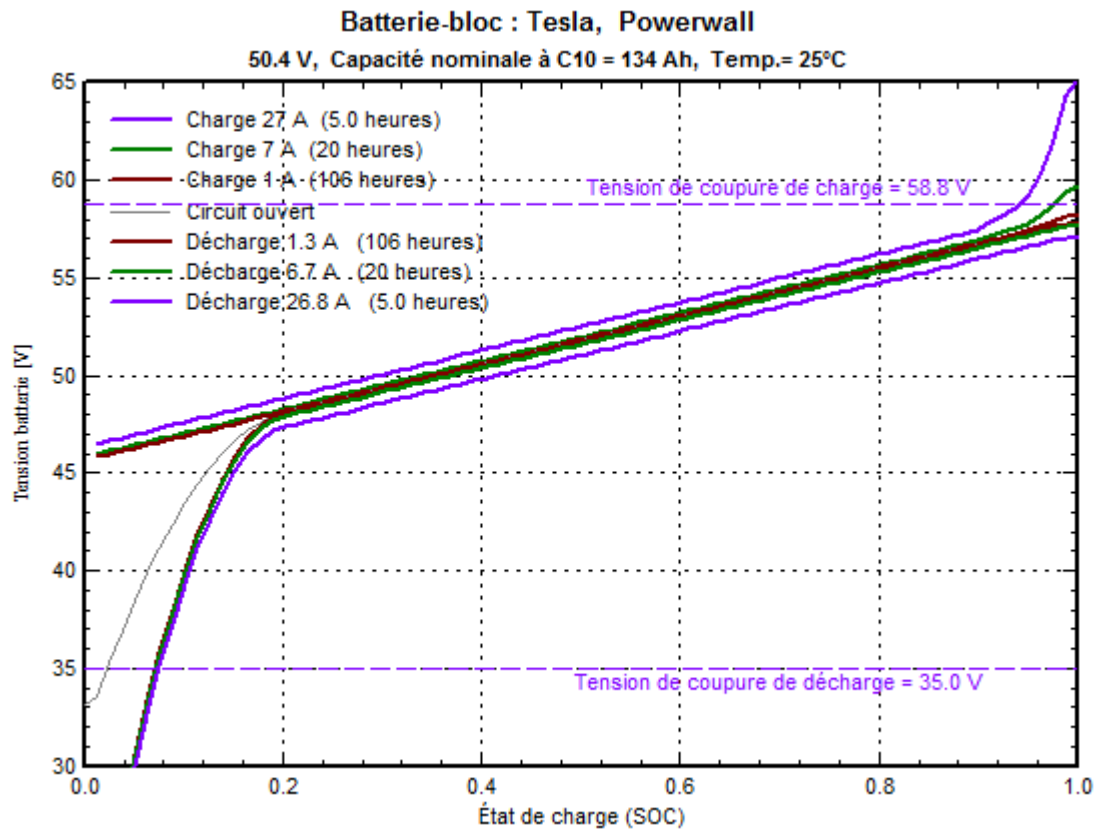


Figura 34: Curvas de funcionamiento de las baterías  $V=F(SOC)$ .

Visto lo anterior y las características estándares de los paneles fotovoltaico más potentes del mercado, decidimos realizar arreglos de 2 baterías en serie para tener un rango de funcionamiento entre 70V y 116V aproximadamente, lo cual corresponde más o menos al rango de voltaje de funcionamiento de 3 paneles CS3W-410 HE en serie en un ambiente tropical (No nos preocupa que el voltaje de funcionamiento entre -10 y 10 grados de los paneles fotovoltaicos supere el rango de operación de las baterías).

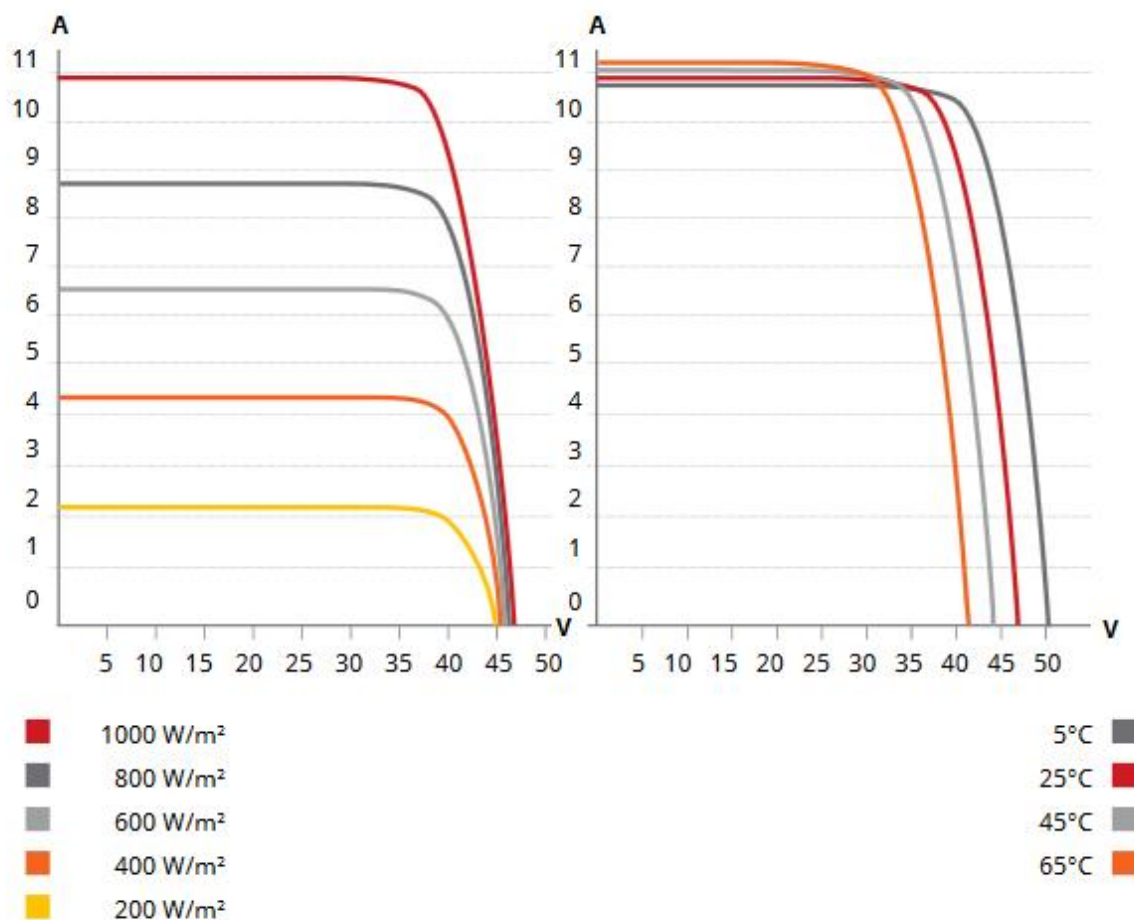


Figura 35: Curvas IV de los paneles fotovoltaicos seleccionados CS3W-410HE

El rango de funcionamiento MPPT variando según la temperatura entre 30-40V para un panel fotovoltaico oscila entre 90-120V para el conjunto de 3 paneles en serie, para temperaturas superiores a 10°C. (Es el caso siempre en la costa de Réunion).

Sin entrar en más detalles sobre la selección de equipos compatibles entre sí, queremos abordar las limitaciones del programa PVSyst para realizar el análisis. En primer lugar, en la industria de las energías renovables es más común tener instalaciones conectadas a la red, este hecho juntamente con el hecho de que las instalaciones totalmente aisladas son mucho más complejas, da lugar a una falta de recursos de modelización de instalaciones aisladas. De hecho, a continuación, presentamos el esquema tipo de instalaciones aisladas de las instalaciones PVSyst donde podrán ver que no existe la posibilidad de tener un inversor de corriente para consumir la energía en corriente alterna. También existen escasos reguladores para las instalaciones debido a la gran variedad de estos, añadiendo el hecho que para tener una coincidencia dinámica en todos momentos de los sistemas energéticos podemos necesitar tantos convertidores DC-DC como sistemas (PV array, Baterías, Load ...)



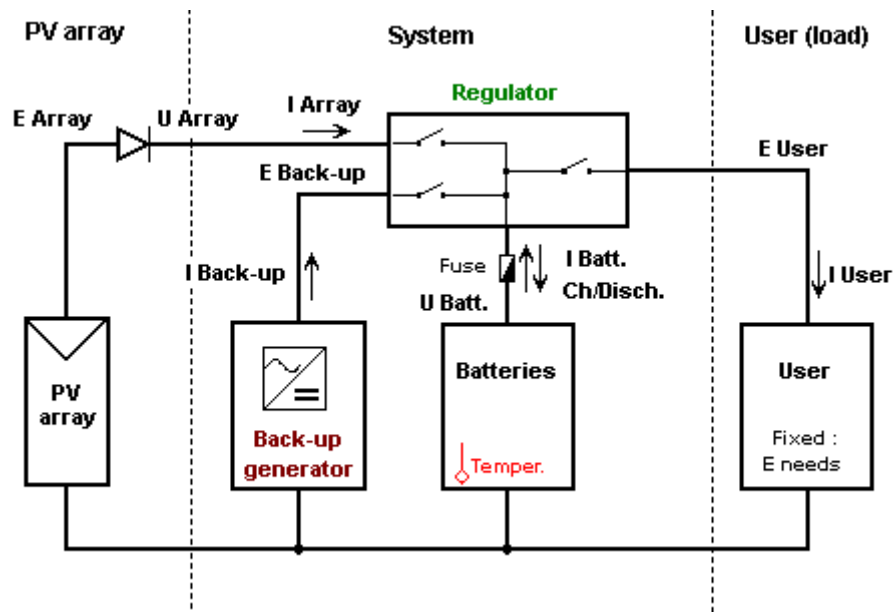


Figura 36: Diagrama unifilar tipo de la instalación fotovoltaica aislada en PVsyst.

En el diagrama anterior, podemos notar la falta de conversión a corriente alterna antes del consumo de la energía generada. También este diagrama no pega a la realidad de los sistemas de su biblioteca. Por ejemplo, las baterías Tesla *Powerwall 2* son baterías que tienen su propio regulador, y un inversor integrado y por lo tanto tiene como input/output energético unas corrientes AC. Nota final: Existen dos modelos *Testla Powerwall 2* un DC y otro AC.

### 5.3.3 Configuración de planta

En la siguiente sección sintetizamos la configuración de la instalación solar y baterías que hemos elegido en base a nuestra experiencia:

#### *Módulo fotovoltaica*

Fabricante del panel fotovoltaico .....	Canadian Solar 410 Wp en STC
Tipo de panel .....	CS3W-410 HP
Opt. Operating Voltage .....	39.1V
Tecnología del panel .....	SiPoly
Potencia nominal del panel .....	410 Wp en STC
Potencia del conjunto de paneles .....	17.22 kWp en STC
Numero de paneles .....	42 Ud
Superficie de paneles .....	92.8 m2

#### *Corriente Continua. (Generador Fotovoltaico – Regulador DC - Baterías)*

Voltaje de trabajo Optimizado de los paneles en serie .....	106 VMpp DC a 50°C
Numero de paneles por cadena .....	3 paneles
Número de cadenas por Regulador .....	7 cadenas
Pérdidas de los conductores en corriente continua .....	2.5 % STC
Caída de tensión a través del diodo.....	0.7 V

#### *Conjunto de baterías*

Fabricante .....	Tesla
Tipo de batería .....	Tesla Power Wall 2 -55V
Tipo de inversor .....	Generico 110V
Número de estaciones de potencia del parque .....	4 Ud
Configuración de baterías .....	2 serie x 2 paralelo
Energía almacenada utilizable por el conjunto .....	49.0 kwh o 536 A.h
Potencia máxima del conjunto de baterías .....	14 KVA
Eficiencia de un ciclo de carga descarga completo .....	90%
Consumos auxiliares .....	Despreciables en esta fase

#### *Inversor y regulación*

Fabricante .....	N/A
Tipo de la estación de potencia .....	Generico 110V
Tipo de inversor .....	Generico 110V
Número de estaciones de potencia del parque .....	1 Ud
Potencia nominal del inversor / trafo. elevador .....	18 KVA
Consumos auxiliares .....	despreciables en esta fase
Tensiones de entrada / salida del conjunto .....	110 VDC/ 230 VAC

Nota: Como hemos comentado en el subcapítulo anterior la modelización del inversor para una instalación solar fotovoltaica aislada con baterías no forma parte de la modelización PVsyst pero lo incluimos en este informe porque si forma parte de la instalación prevista de OPOMLI Réunion.

### 5.3.4 Presentación de las pérdidas

En toda la cadena de transformación de la energía se tiene en consideración las pérdidas. Algunas pérdidas son computadas y necesitan un modelo físico para ello, como las pérdidas por temperatura, y otras se especifican como un parámetro (por ejemplo, las pérdidas por polvo y suciedad). Las pérdidas se categorizan según el medio en las cuales ocurren. Primero hay pérdidas ópticas que ocurren en el plano receptor comparado con la luz incidente, luego las pérdidas de conversión fotovoltaica, luego las pérdidas en el sistema eléctrico del arreglo solar fotovoltaico, a las cuales se añaden las pérdidas por energía sobrante, las pérdidas de convertidores, las pérdidas en el sistema de almacenaje de la energía etc. Una herramienta muy interesante para visualizar las pérdidas a lo largo de la cadena de transformación de la energía es el diagrama de SANKEY (o de flujo), nombre del capitán irlandés quien lo inventó, donde se visualizan las pérdidas a lo largo del flujo de energía en los distintos subsistemas del sistema. A continuación, presentamos el diagrama de SANKEY resumiendo las pérdidas anuales (integrales) del sistema modelizado para la instalación tipo fija VCO:

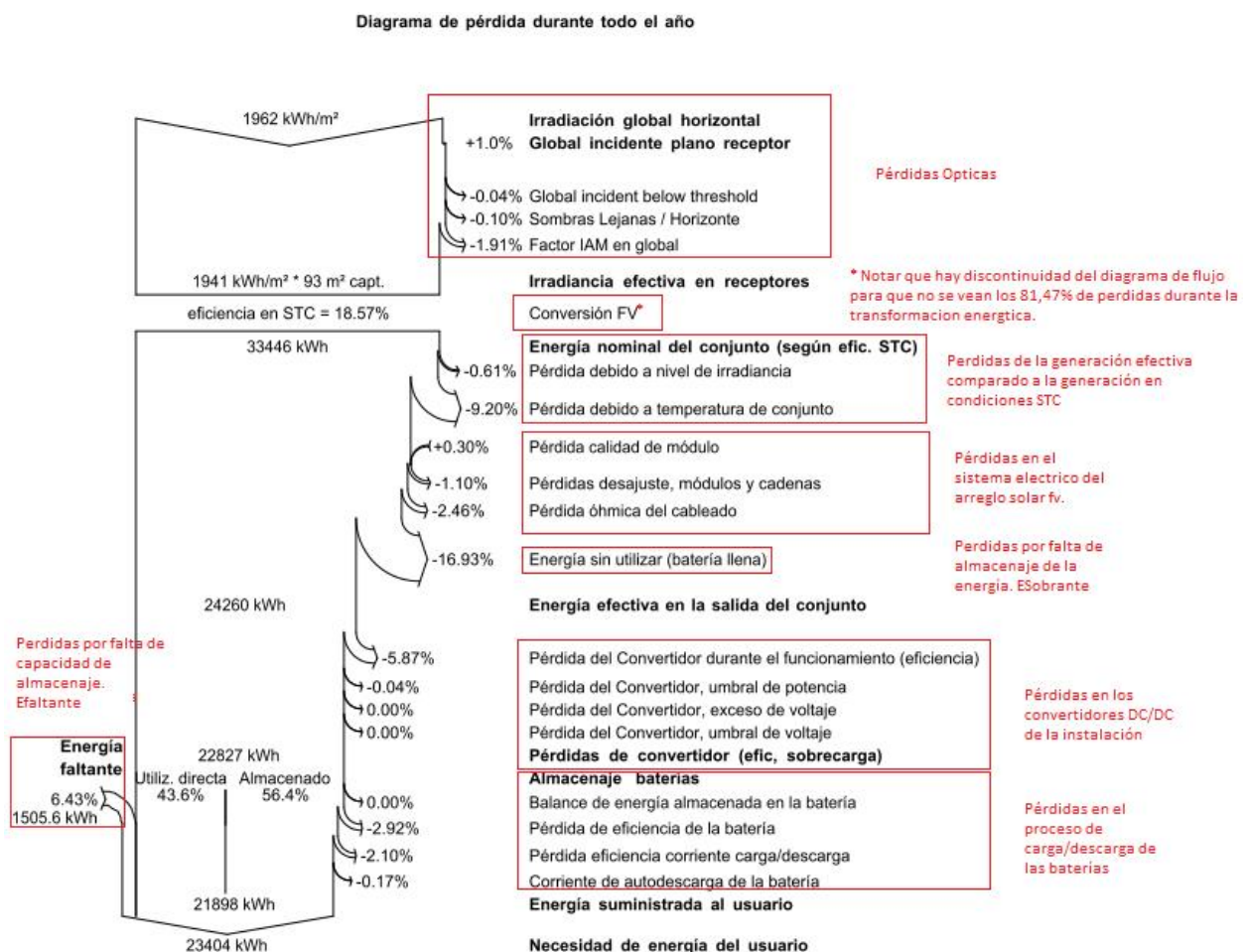


Figura 37: Diagrama de SANKEY de las pérdidas del sistema comentado. Fuente: Informe Resultado PVsyst VCO

A continuación, presentamos más detalladamente las distintas pérdidas del sistema:

### Pérdidas por temperatura.

El comportamiento térmico de los paneles, que influye en su rendimiento, se determina mediante un balance energético entre la temperatura ambiente y el calentamiento de la celda debido a la radiación incidente.

El comportamiento térmico se caracteriza por un factor de pérdidas térmica ( $U$ ) que se divide en una componente constante ( $U_c$ ) y un factor proporcional a la velocidad del viento ( $U_v$ ). Estos dos factores dependen del modo de instalación de los paneles, y de la libre circulación del aire por ambas caras.

La fórmula que se utiliza es la que sigue:

$$U = U_c + U_v \times v \quad (9)$$

donde  $v$  es la velocidad del viento.

### Pérdidas de calidad de los módulos.

Estas pérdidas se deben a la desviación de la eficiencia efectiva media de los paneles con respecto a las especificaciones del fabricante, y se calcula mediante un tanto por ciento de pérdidas netas de producción de los paneles. Dependiendo las tolerancias impuestas por el fabricante la media de esta dispersión puede tomar valores nulos, positivos o negativos, (valores negativos inducen ganancias de producción).

### Pérdidas por sombras cercanas, lejanas:

Son las pérdidas ópticas debido a las sombras de objetos/orografía sobre el sistema fotovoltaico.

### Pérdidas LID.

Las pérdidas LID "*Light Induced Degradation*" son las pérdidas debidas a la degradación de los paneles de silicio cristalino en las primeras horas de funcionamiento, con respecto a los valores de producción STC "*Standard Test Conditions*". Estas pérdidas son debidas a las trazas de oxígeno incluido en el silicio fundido durante los procesos de producción, y que interactúa con el boro. Se calcula mediante un tanto por ciento de pérdidas netas de producción de los paneles.

### Pérdidas por desajuste (*mismatch*)

Son las pérdidas debidas a la conexión en serie de paneles con intensidades levemente diferentes y la conexión en paralelo de diferentes cadenas con voltajes levemente diferentes. En el primer caso, el panel con menor corriente limita a toda la serie. En el segundo caso, el resultado del voltaje final se acerca al promedio de estos.

### Pérdidas por polvo y suciedad

Estas pérdidas se deben a la suciedad sobre los módulos fotovoltaicos, la cual reduce la irradiación incidente. Estas pérdidas, dependen la granulometría del suelo, densidad y tipo de vegetación, condiciones meteorológicas, tipo de estructura e inclinación. Pueden mitigarse según la frecuencia de limpieza de los módulos. Se calcula mediante un tanto por ciento de pérdidas brutas de la producción anual de los paneles.

### Pérdidas debidas al ángulo de incidencia

Estas pérdidas son debidas a la incidencia no perpendicular de la irradiación en la superficie del panel, produciendo fenómenos de refracción y reflexión que disminuyen el rendimiento. Este fenómeno obedece a las leyes de transmisión y las reflexiones en la interfase de dos materiales transparentes con diferentes índices de refracción. Se calcula mediante el factor de modificación del ángulo de incidencia (IAM) y que corresponde a la disminución de la irradiancia real sobre las células fotovoltaicas con respecto a la irradiancia bajo incidencia normal. En la siguiente gráfica se muestran los valores de la tabla utilizada:

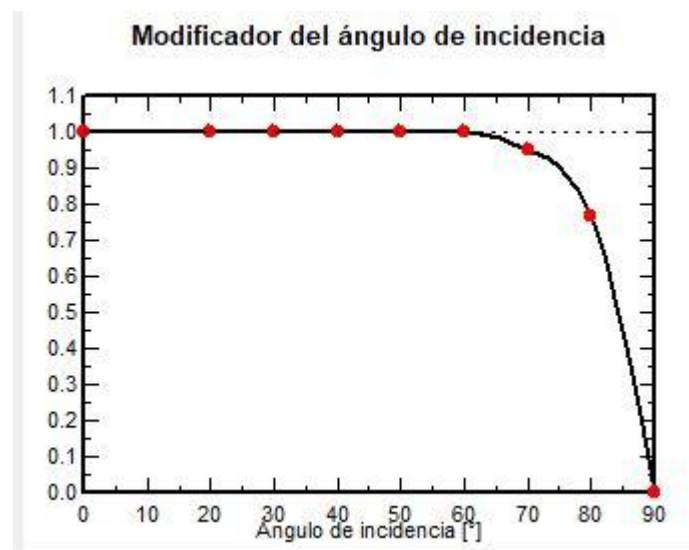


Figura 38: Curva factor IAM

### Pérdidas óhmicas Circuito de corriente continua (Paneles-Convertidor)

Las pérdidas óhmicas debidas a la resistividad de los cables de corriente continua, y que se mide en un % de la caída de tensión final respecto de la tensión nominal en STC. Notar que no se tienen en cuenta en el diagrama Sankey las pérdidas a partir de los convertidores hasta el consumo, y por eso hemos añadido un factor de pérdidas del 10% en las curvas de consumo (siendo muy conservadores).

### Pérdidas por Energía sin utilizar y Energía Faltante:

Son las perdidas debido a las limitaciones del sistema de almacenaje para que se respete el principio fundamental de conservación de la energía como explicado en 5.2.1 debido a las limitaciones físicas del sistema de almacenaje utilizado:

- Tenemos pérdidas por energía sin utilizar cuando la batería está llena y la generación es superior al consumo.

- Tenemos pérdidas por falta de energía cuando la batería está vacía y la generación es inferior al consumo.

Estas pérdidas son las que podemos evitar con un sistema de gestión inteligente de la carga y del consumo.

### Degradación del panel fotovoltaico.

Los paneles están sujetos a una degradación en sus materiales externos, conexiones entre células, entrada de humedad, pérdida de adherencia entre los componentes, esto conlleva una disminución de rendimiento año a año.

El fabricante de los paneles garantiza para los 25 años siguientes a la instalación de los módulos fotovoltaicos que la caída de potencia de salida nunca será mayor al 0.7-1% de la potencia nominal.

### Pérdidas en los convertidores

Las pérdidas en los convertidores es la suma de las pérdidas por eficiencia del convertidor DC-DC y las pérdidas por superar el rango de funcionamiento del convertidor (umbral de tensión y potencia).

### 5.3.5 Resumen de las pérdidas

En la siguiente lista se presenta un resumen de todas las pérdidas calculadas para el proyecto, las cuales también se encuentran en el "diagrama de pérdidas" del informe del PVsyst® adjunto en anexo I.1 para VC0, I.2 para VC1 y I.3 para VC2.

### Pérdidas por temperatura.

- Componente constante ( $U_c$ ) ..... 29 W/m<sup>2</sup> k
- Componente viento ( $U_v$ ) ..... 0 W/m<sup>2</sup> k/m/s

### Pérdidas por calidad

- Pérdida por calidad del módulo comparado con las fichas tec..... 1.0%

### Pérdidas LID

- Pérdidas LID ..... consideradas despreciables

### Pérdidas Mismatch o desajuste

- Pérdidas por desajuste ..... 1.10%

### Pérdidas por polvo y suciedad

- Pérdidas por polvo y suciedad ..... consideradas despreciables (a tener en cuenta mant.)

### Pérdidas óhmicas en CC

- Pérdidas de los conductores en corriente continua..... 2.5 % STC
- Caída de tensión a través del diodo ..... 0.7 V

### Pérdidas en los convertidores



- Pérdidas por eficiencia del convertidor ..... según cálculo PVsyst VC0: 5.9%
- Pérdidas por superar el umbral de funcionamiento ..... según cálculo PVsyst VC0: 0.4%

### Degradación del panel fotovoltaico

- Rango de caída de potencia anual ..... 0.7% / P. Nominal

### Pérdidas por energía sin utilizar y energía faltante

- Pérdidas por energía sin utilizar .....según cálculo PVsyst VC0: 16.93%
- Pérdidas por energía faltante.....según cálculo PVsyst VC0: 6.43%

### Pérdidas en las baterías

- Pérdidas por eficiencia de las baterías .....según cálculo PVsyst VC0: 2.92%
- Pérdidas por eficiencia de las corrientes de carga/descargas según cálculo PVsyst VC0: 2.10%
- Pérdidas por corrientes de autodescarga .....según cálculo PVsyst VC0: 0.17%

Las pérdidas presentadas son anuales e integrales, es decir que están presentadas respecto a la energía anual generada, y calculadas por el programa en base a parámetros especificados por las fichas técnicas y el usuario.

## 5.4 Resultados del diseño solar fotovoltaico con baterías

En base al dimensionamiento y modelización presentada en 5.3, hemos simulado los tres escenarios de configuración solar, en base a la misma definición de equipos presentados en 5.3.3. con el programa PVsyst versión 6. En el anexo 3, presentamos los informes resultados de simulación que nos presenta PVsyst. También, hemos especificado al programa de crear un archivo .csv donde consta la evolución horaria de los variables para un año TMY. A continuación, presentamos las variables que destacan:

- GlobInc ..... Irradiación global incidente en plano receptor
- GlobEff ..... Energía efectiva en salida del generador fotovoltaico
- EArray ..... Energía efectiva en salida del generador fotovoltaico
- E\_Avail ..... Energía efectiva disponible al consumo (después de los convertidores)
- GlobHor ..... Irradiación global horizontal
- DiffHora ..... Irradiación difusa horizontal
- BeamHor ..... Irradiación directa horizontal
- T\_amb ..... Temperatura ambiente
- WindVel ..... Velocidad del viento
- SOC mean ..... Estado de carga de la batería
- ChargON ..... Esta en carga la batería
- DischON ..... Esta en descarga la batería
- U\_batt ..... Tensión batería
- E\_load ..... Energía requerida por las cargas previstas
- E\_User ..... Energía Suministrada al utilizador
- E\_miss ..... Energía faltante para sustentar la load prevista

Lo que nos interesa es, sobre todo, la evaluación energética global anual, así como la evaluación mensual y diaria. Entonces, en base al archivo csv, hemos creado una hoja Excel para analizar los resultados. A continuación, presentamos los resultados de las tres modelizaciones.

#### 5.4.1 Resultados anuales

A continuación, presentamos los resultados anuales de las 3 variantes de cálculo propuestas (ver resumen tabla 11):

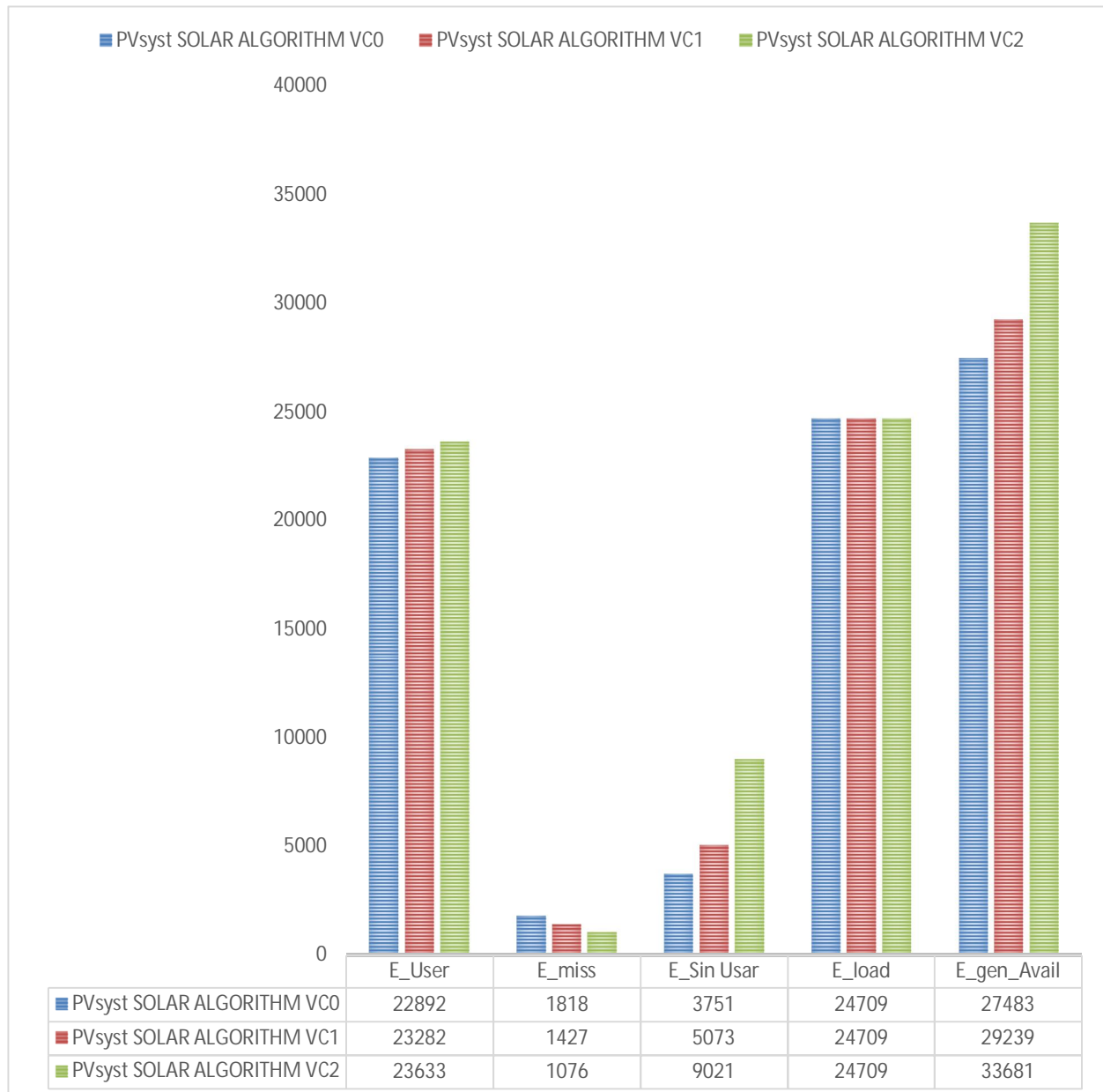


Figura 39: Comparativa Resultados Solar fotovoltaico mediante PVsyst [Resultados en kWh]

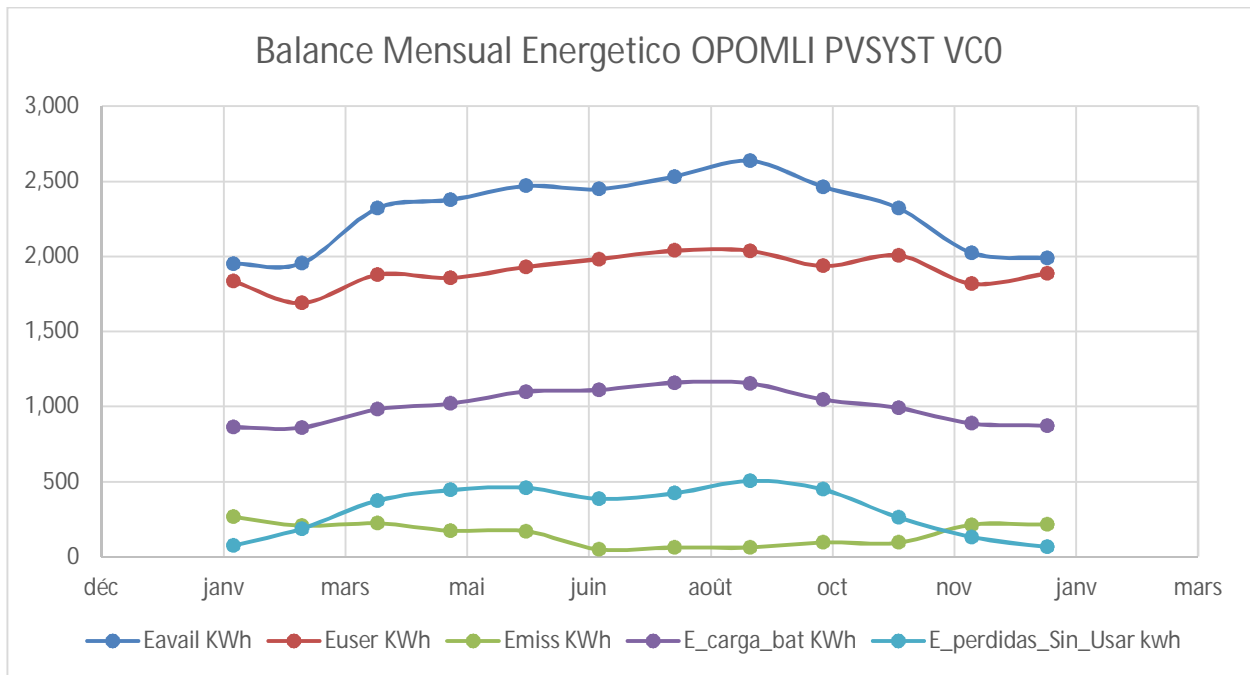
Las últimas columnas de la tabla muestran el incremento de generación debido al cambio de configuración geométrica, en concordancia con el hecho de que de VC0 a VC1 y luego a VC3 se incrementa la captación de irradiación global horizontal en el plano receptor ya que estamos “apuntando más al sol”. También podemos constatar que se reduce un 21.5% y 40.8% la Energía faltante (Emiss) en los escenarios VC1 y VC2 respectivamente comparándolo con VC0.

Sin embargo, solamente aumenta la energía proporcionada al usador (entender para abastecer el perfil de las cargas previstas) del 1.7% entre VC1 comparado con VC0 y del 3.2% comparando VC2 con VC0. Al contrario, vemos que la mayor parte del incremento de generación debido a una mejor captación solar acaba siendo no utilizada para la carga definida debido al hecho de que las baterías ya estén llenas. La variación relativa a VC0 de la Energía sin usar es del 35.3% para VC1 y del 140% para VC2.

Constatando los resultados anteriores, podemos decir que muy probablemente no valga la pena equipar la estación OPOMLI de trackers solares de eje Norte/Sur debido al hecho de que doblaría la energía que no se puede usar y solamente nos permita proporcionar unos 391 kwh más al usador (aunque si le podamos dar uso, pero no con el escenario de carga previsto). Podríamos disminuir el número de paneles en el caso de trackers y comparar los resultados en un análisis técnico-económico (es lo que se haría para una instalación conectada a la red de gran tamaño y sobre el terreno natural con coeficientes de ocupación del suelo similares 40-60% y una energía vertida a la red mayor sin restricciones de almacenamiento...), pero hay que recordar que los trackers usan una pequeña parte de la superficie (coeficiente de ocupación del 50% dejando 2m de panel a panel de distancia de seguridad) y resultaría mejor en nuestra opinión elegir la variante VC1 o VC0 ya que son más económicas y mejora el balance energético, así como el coeficiente de ocupación del 100% (es un criterio clave para la aplicación nuestra). En este punto de nuestra investigación sobre la factibilidad de la generación energética, descartamos la variante VC2.

### 5.4.2 Resultados mensuales

A continuación, presentaremos los balances energéticos mensuales de las variantes de simulación VC0 y VC1 con sus tablas resultado mensual:



Mes	Glob Hor	DiffHor	T Amb	WindVel	Glob Eff	Eavail	Euser	Emis	E_carga_bat	E_perdidas_Sin_Usar
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	m/s	kWh/m <sup>2</sup>	KWh	KWh	KWh	KWh	kwh
janv	190	77	26	5	139	1,952	1,835	264	861	75
févr	168	68	26	6	140	1,954	1,690	206	860	186
mars	172	66	25	6	166	2,319	1,877	222	981	373
avr	150	52	25	5	171	2,377	1,858	173	1,019	443
mai	134	45	23	5	177	2,469	1,929	170	1,099	460
juin	121	39	22	6	173	2,447	1,982	49	1,111	385
juil	131	43	21	6	180	2,532	2,038	61	1,159	422
août	151	51	21	6	186	2,636	2,037	61	1,155	505
sept	171	60	21	6	175	2,464	1,936	94	1,046	447
oct	186	75	22	6	164	2,321	2,005	93	992	261
nov	189	78	24	6	143	2,025	1,819	212	888	131
déc	198	79	25	5	141	1,988	1,886	213	872	64

Total/Prom	1,962	732	23.3	5.8	1,952	Total/Prom	27,483	22,892	1,818	12,042
							18.2%	16.7%	7.9%	43.8%

Tabla 12: Resultados Mensuales balance energético VC0.

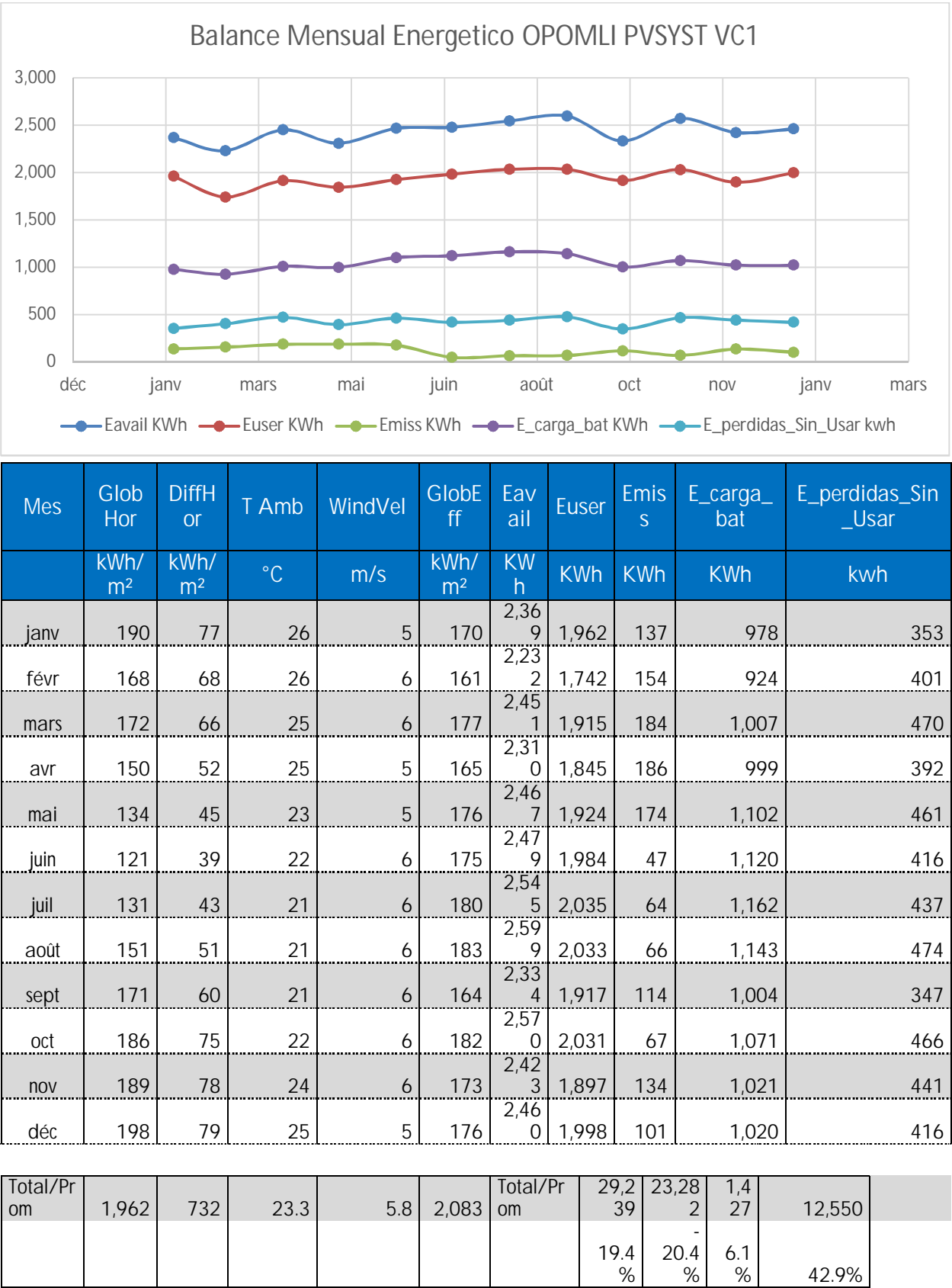


Tabla 13: Resultados Mensuales balance energético VC1.

De los resultados anteriores, podemos decir que los resultados son iguales o casi (debido a condiciones de SOC del batería distinto al empezar el 1 de abril cuando se realiza el cambio de ángulo de elevación) ya que las instalaciones son iguales los meses de invierno hasta el mes de octubre. Por otro lado, la mejora de balance energético con respecto a VC0 (Emiss baja, EUser aumenta) se debe exclusivamente a los meses de verano.

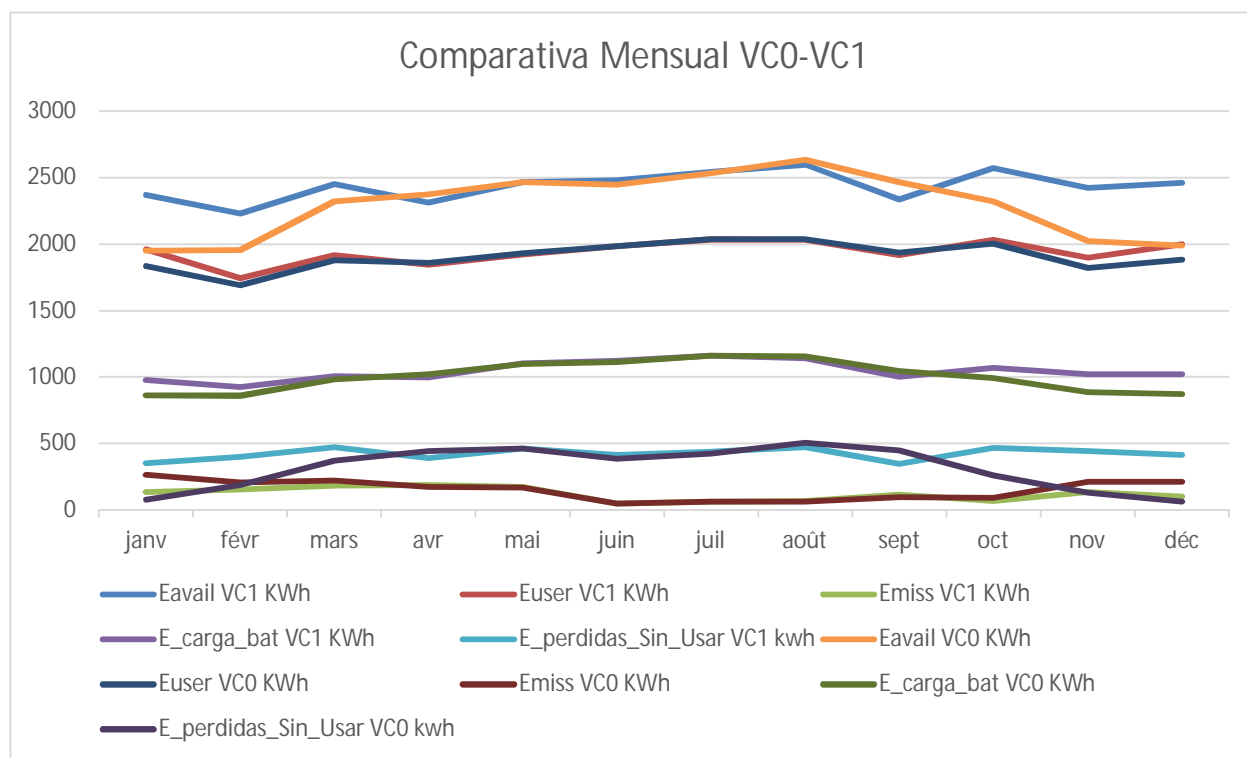


Figura 40: Comparativa Resultados Solar Mensuales VC0-VC1

Tanto la curva de generación solar fotovoltaica mensual como las demás curvas son más equilibradas en el caso de la variante VC0 con variaciones menores alrededor de una constante, siendo el promedio anual de cada variable energético. Por otro Lado, la reducción de E miss de un 21.5% en verano entre VC1 y VC0 es importante, y tenemos que con esta variante de cálculo Emiss verano es casi igual a Emiss invierno. En esta fase nos parecen factibles ambos diseños, aunque tengamos un 6-7% de energía faltante en el balance final. Intentaremos reducirlo con las medidas presentadas en el capítulo siguiente. Para más detalle sobre los resultados de la modelización PVsyst, presentaremos los informes resultados en los anexos I1 a I3.

Aunque no vayamos de analizar en detalle los resultados diarios y horarios, presentamos los variables energéticos diarios y algunos meses horarios para que el lector se haga una idea de la variabilidad del recurso y de los ciclos de carga/descarga para nuestro emplazamiento:



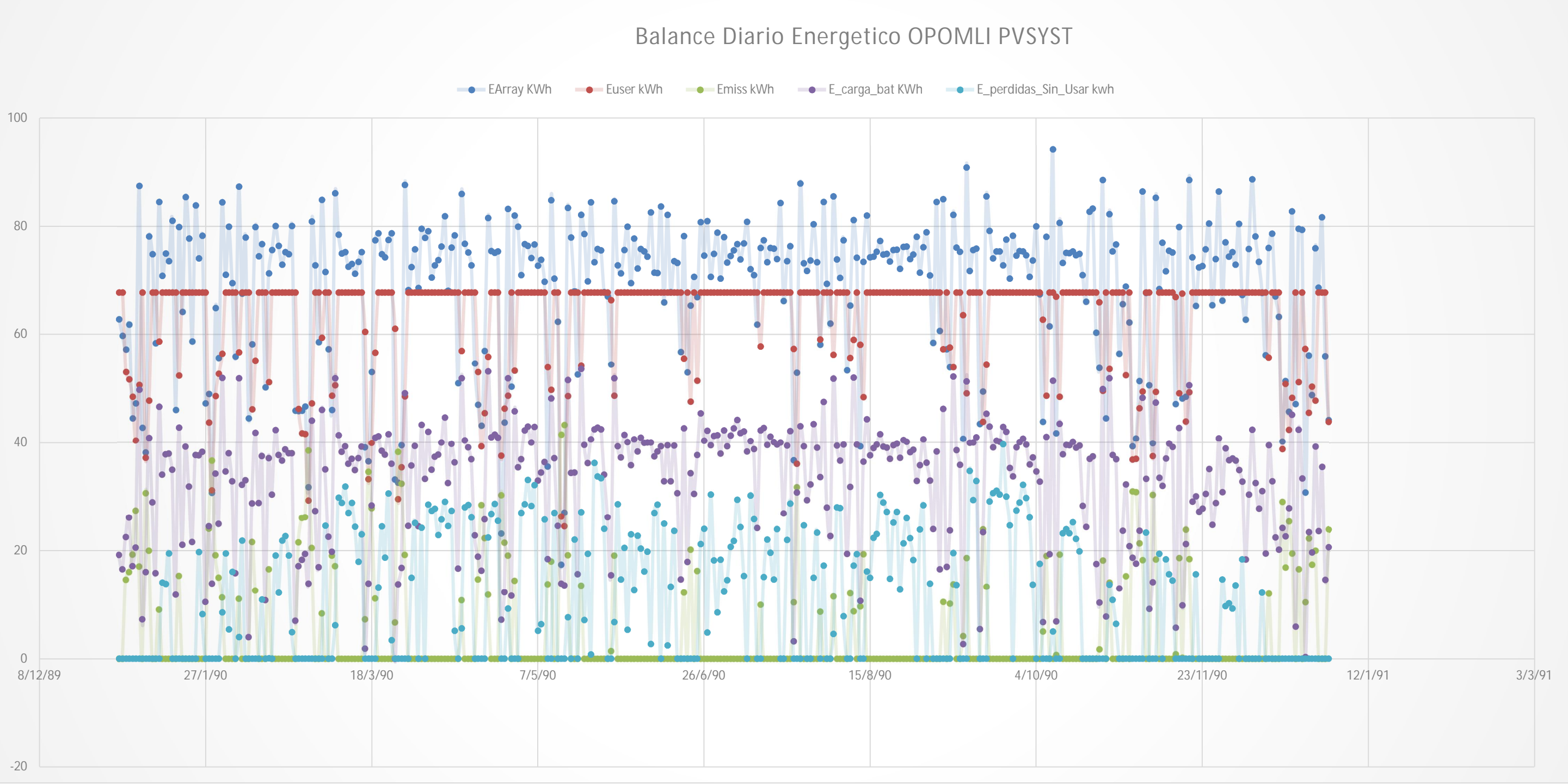


Figura 41: BALANCE ENERGETICO DIARIO OPOMLI PVSYST VCO

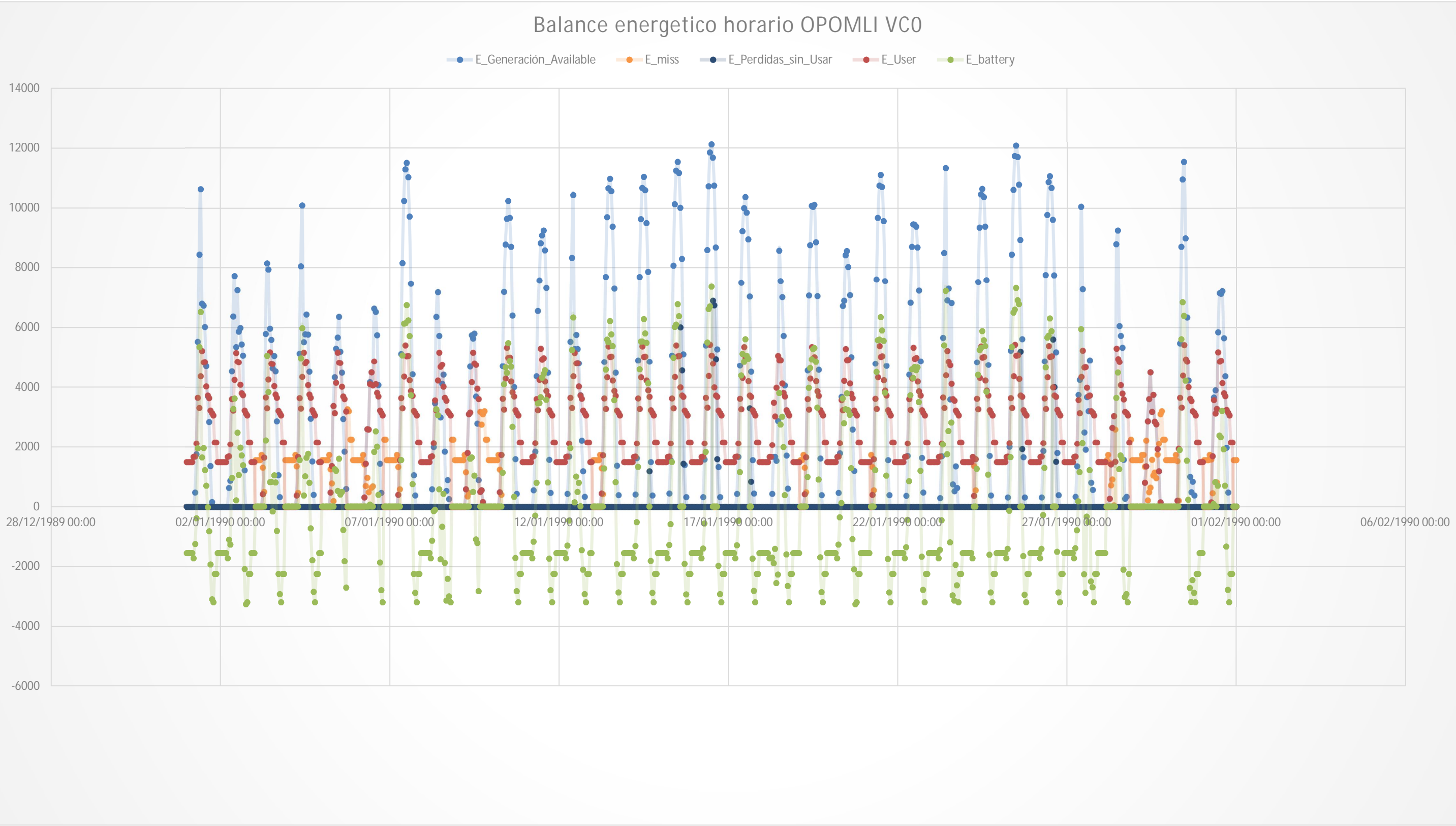


Figura 42: BALANCE ENERGETICO HORARIO OPOMLI PVSYST VC0. (MES DE ENERO TMY)

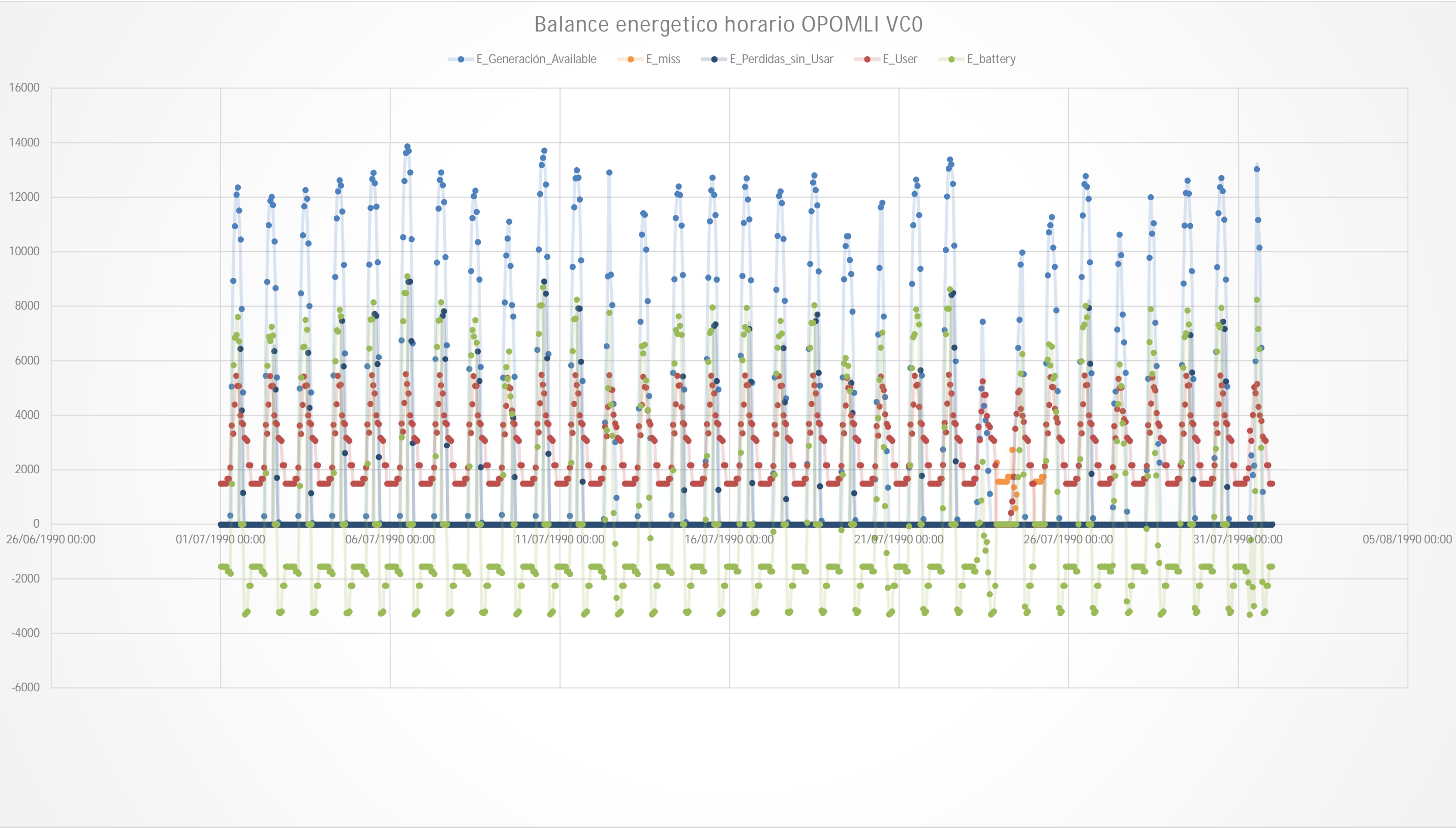


Figura 43: BALANCE ENERGETICO HORARIO OPOMLI PVSYST VC0. (MES DE JULIO TMY)

# Capítulo 6. Ampliación de la modelización PVsyst

En el capítulo anterior, hemos definido los consumos eléctricos a suministrar por la instalación eléctrica de la plataforma OPOMLI. El diseño está previsto para ubicación tropicales, y queriendo tener una instalación de producción energética de fuente renovable, apostamos por una instalación solar con baterías como base de la producción, cuyo diseño y resultados se presentaron en el capítulo anterior. Sin embargo, nos parece muy interesante la posibilidad de agregar fuentes de energía eólica, de realizar la gestión de la demanda, así como de la sobre generación para llegar a una cantidad de energía faltante menor y mejorar la estabilidad del sistema.

## 6.1 Filosofía de la modelización energética

La idea principal de la ampliación de la modelización anterior (Capítulo 5), es aprovechar los archivos resultados de PVsyst, analizar la relación entre los variables de salida del archivo CSV y reproducir una modelización energética horaria anual, en base a nuestros propios modelos y algoritmos de funcionamiento mediante Excel, validarla con respecto a los resultados PVsyst. Una vez conseguido obtener resultados cercanos a los de PVsyst, incluiremos una modelización de la generación eólica y simularemos la gestión energética de la plataforma. Analizaremos los resultados de la integración de la generación eólica y por fin integraremos un algoritmo de gestión de la demanda en función del estado de carga de las baterías.

En un principio, queríamos realizar un análisis dinámico del control de voltaje de la instalación mediante OPEN MODELICA, sin embargo, tras varias semanas de intentos fallados de importación de archivos meteorológicos TMY2 y TMY3 de la NASA como input, así como la modelización energética en el programa, decidimos que era más factible realizar el análisis horario al nivel conceptual en Excel, así como diseñar una hoja Excel que nos permite simular de manera horaria realista la gestión energética una red aislada en corriente continua. A continuación, presentamos el diagrama eléctrico conceptual de la instalación eléctrica de la plataforma OPOMLI:



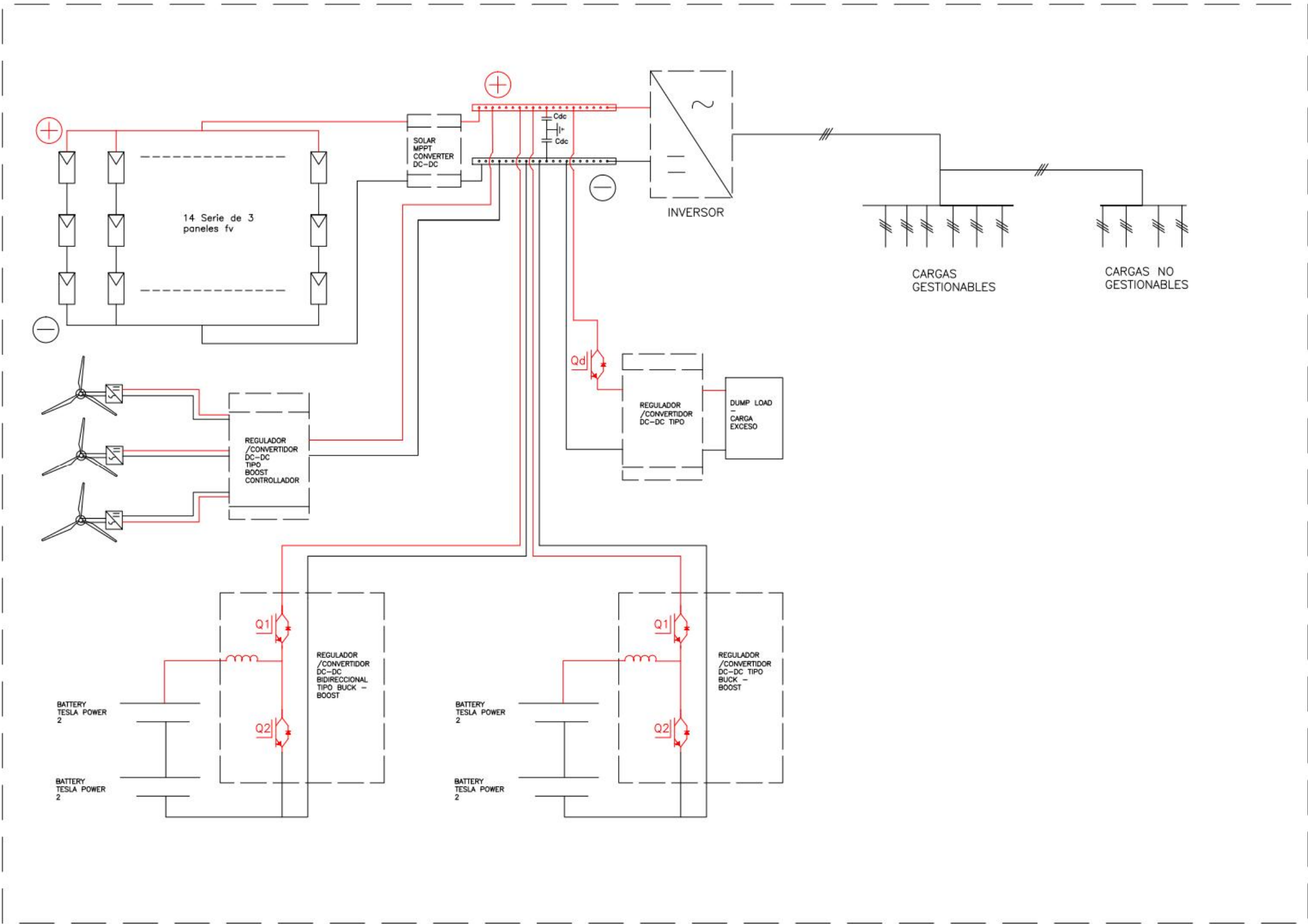


Figura 44: Diagrama eléctrico conceptual de la instalación eléctrica OPOMLI.

## 6.2 Modelización de la generación eólica

El archivo CSV resultado de PVsyst tiene como variable de salida la velocidad del viento horaria. En la modelización PVsyst, este parámetro sirve como input en la modelización interna térmica de los paneles fotovoltaicos con objeto de obtener la temperatura de las células fotovoltaicas que influye como hemos visto anteriormente tanto en las características de generación fotovoltaica como en las pérdidas. Usaremos el dato de velocidad promedio horario como input de nuestra modelización de generación eólica. El flujo masico del aire pasando por un disco de superficie A es:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \text{ en } \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (10)$$

Por lo tanto, la energía cinética por unidad de tiempo, del aire pasando el disco es:

$$Pv = \frac{1}{2} * \dot{m} * v^2 = \frac{1}{2} * \rho \cdot A \cdot v * v^2 = \frac{1}{2} * \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (11)$$

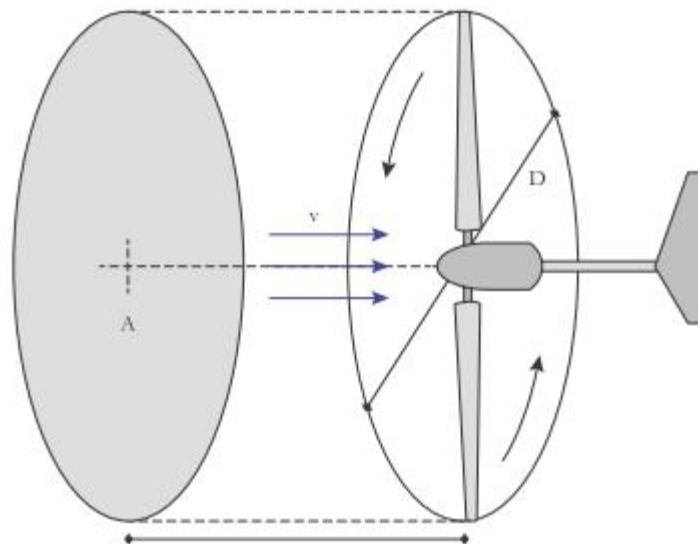


Figura 45: Tubo de aire y disco rotor de una turbina eólica.

Una turbina no puede extraer toda la energía del viento (sino no hubiera viento en salida del disco) y por lo tanto definimos el coeficiente de potencia extraíble  $C_p$ :



$$C_p = \frac{PAero}{Pv} < Bl \quad (12)$$

donde:

- Bl es el límite teórico de coeficiente de potencia de Betz, Bl=0.593
- PAero es la potencia mecánica obtenida del flujo de viento
- Pv la potencia cinética del viento en su tubo de aire alrededor del disco rotor

Sin entrar en muchos detalles, ni de la aerodinámica, ni del dimensionamiento de las eólicas, una turbina eólica está diseñada para una clase de viento, y debido a su diseño, puede aprovechar vientos desde la velocidad mínima de viento para que las palas entren en funcionamiento, o mejor dicho desde la velocidad mínima de viento para que las palas se muevan de manera regular para producir una potencia eléctrica sin que tenga que usar más energía en sus sistemas eléctricos para tener una regulación viable, ósea la velocidad de arranque de la máquina, hasta una velocidad máxima de funcionamiento para la cual la eólica deja de producir energía y se pone en modo supervivencia. En las eólicas de gran tamaño existen varias estrategias, y nombraremos algunas de ellas:

- Las palas de las eólicas de eje vertical se ponen paralelas al flujo de viento para disminuir al máximo el área A.
- Una regulación del ángulo aerodinámico Pitch aumenta la resistencia al aire de las palas. Esta regulación se llama freno aerodinámico y funciona también durante la generación.
- Frenos mecánicos o hidráulicos.

Una vez las palas transforman la energía cinética del viento en energía mecánica en el eje de buje de la turbina, y siguiendo el principio de conservación de la energía, existen pérdidas en cada proceso de transformación de la energía, que sean mecánicos (por una caja de cambios de velocidad), transformación mecánica en electricidad mediante un alternador (asíncrono, síncrono o una dinamo), y en el condicionamiento de la energía eléctrica para que se pueda usar correctamente (mediante convertidores electrónicos). Por lo tanto, la potencia eléctrica que se puede aprovechar es todavía inferior a PAero, y los fabricantes de turbinas ponen a disposición curvas de potencia de su tecnología. A continuación, presentamos una curva de potencia tipo:

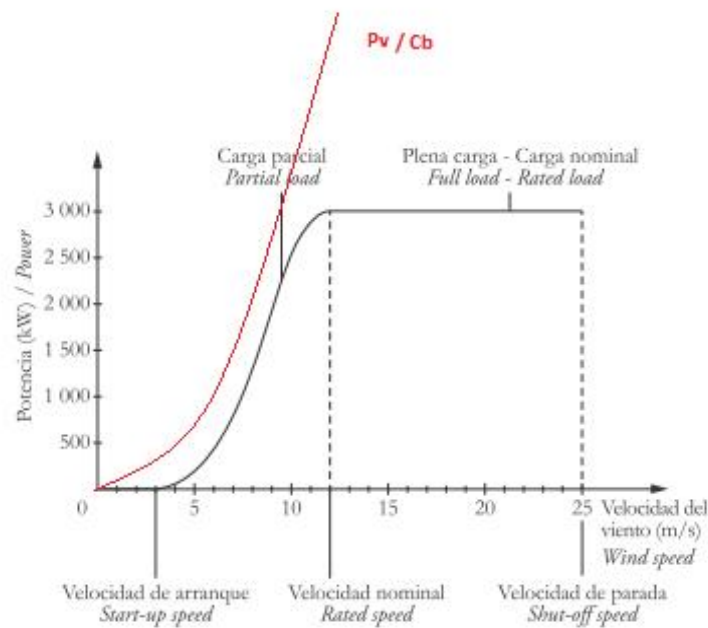


Figura 46: Curva de potencia de un aerogenerador tipo de eje vertical con control de potencia pitch, y la curva teórica de potencia aprovechable máxima ( $P_v$  dividido por el límite de Betz).

Por lo tanto, en nuestro caso, hemos seleccionado unas mini-eólicas diseñadas para el ambiente marino, cuyo output es en corriente DC, y que se suelen usar en las instalaciones de veleros recreacionales. A continuación, presentamos la curva de potencia de los aerogeneradores 500W 48V DC de Silent Wind que hemos entrado en Excel desde la ficha técnica (ver anexo 2), para su uso posterior.

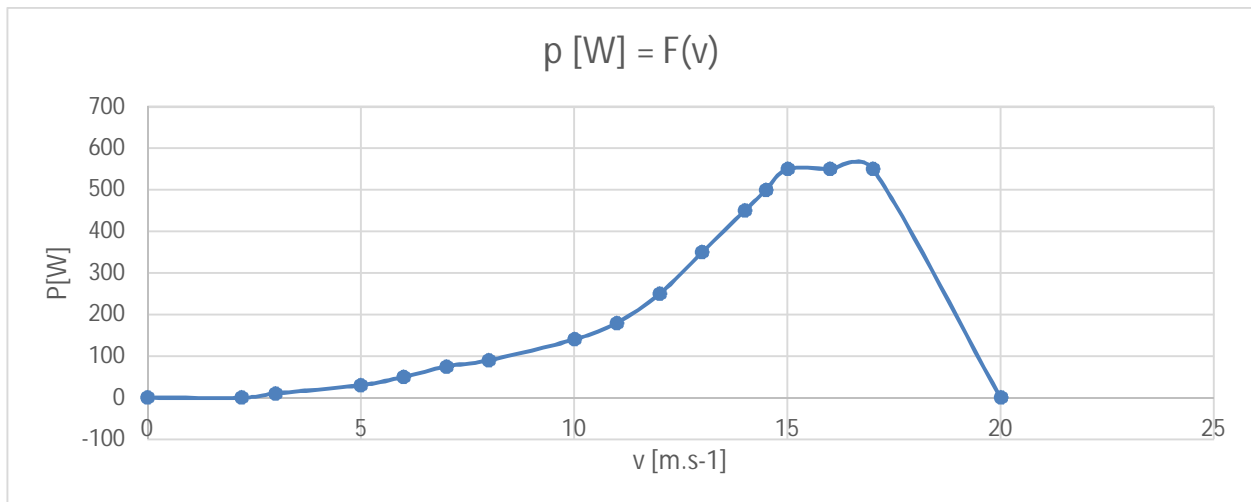


Figura 47: Curva de potencia del mini-aerogenerador SilentWind 500W seleccionado.

Luego, hemos definido unas fórmulas para buscar en la tabla de valores la Potencia eléctrica extraíble de la eólica según la velocidad del viento, y según el número de eólicas que estimamos necesarios, vamos generando el perfil de producción eólica para el año TMY donde:

$$E_{wind} = BF(v) * 1 * N_e \quad (13)$$

Donde:

BF(v) es una función que busca el valor de potencia en la tabla de curva de potencia

Ne es el número de eólicas

En este momento, tenemos que decir que nuestra función BF busca la velocidad más cercana a v tal que  $v < v_t$  de la tabla de valores, y coge el valor de P correspondiendo. En esta etapa no vale la pena mejorar la función BF pero añadiendo puntos de curva de potencia y realizando interpolaciones lineares permitiría llegar a Ewind más acertada con respecto a los datos que tenemos. Sin embargo, la manera por la cual estamos realizando es conservadora.

En primer lugar, en esta etapa de diseño, y antes de simular el sistema completo para obtener el balance energético de la instalación, nos interesa ver la relación temporal entre la generación solar y la generación eólica. Podríamos haberlo hecho antes presentando series temporales de irradiación global horizontal y velocidad del viento, pero resulta que, para verlo mejor, hemos decidido trazar la producción diaria solar y la producción eólica diaria. Para resolver la diferencia de escala que tenemos, dividimos las series por la potencia nominal de cada una por el número de horas diarias. La variable resultante se denomina el factor de planta diario, y representa el % de energía producida durante el día respecto a la energía que se hubiera producido si la instalación funcionara durante todo el día a potencia nominal. A continuación, presentamos la gráfica resultante para el escenario 1:

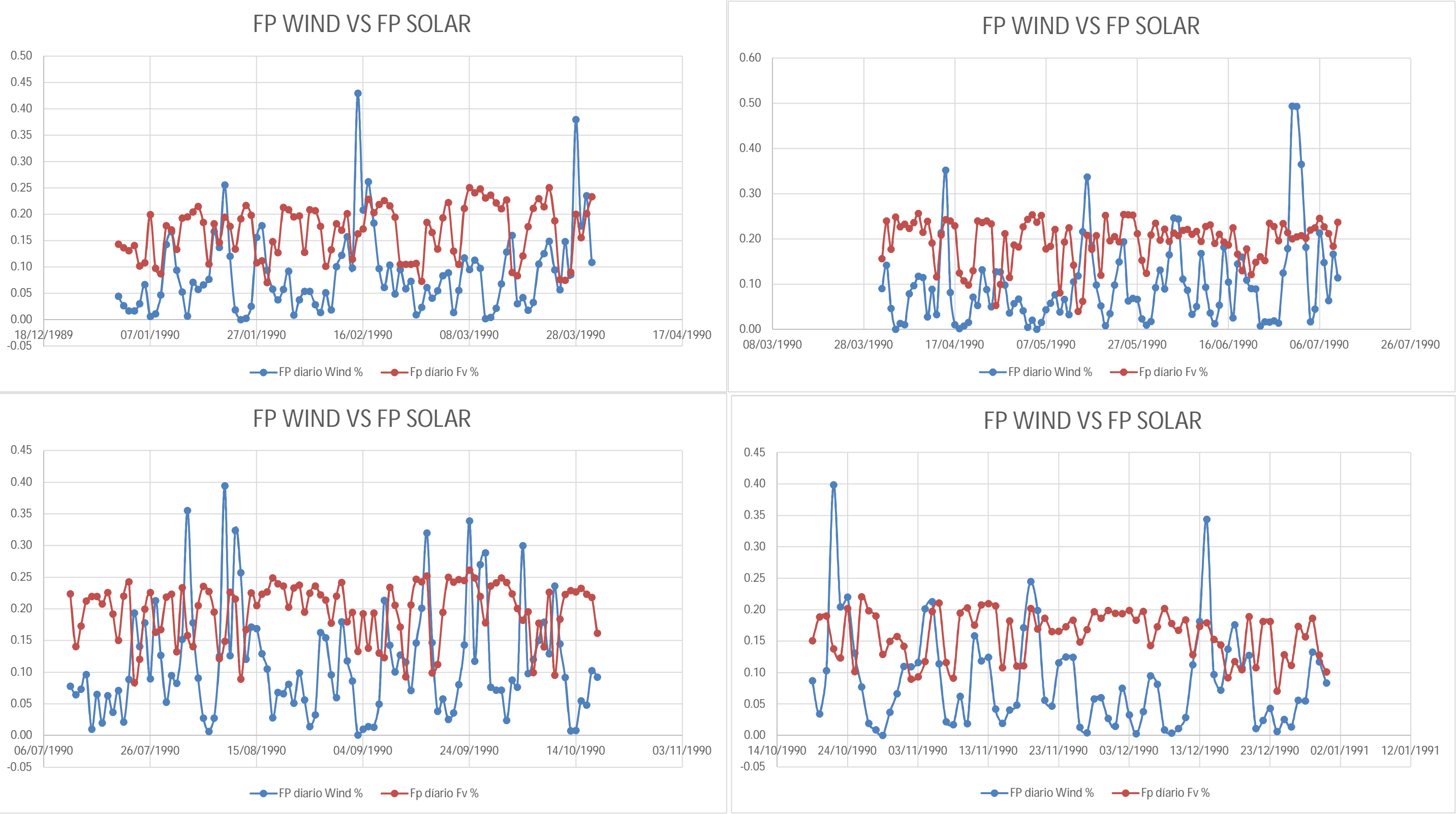


Figura 48: Factor de planta diario fotovoltaico y eólico

Con esta gráfica, observamos que la generación eólica es más variable que la generación solar, quien además de ser más estable al nivel diario, y bastante mayor en promedio. También tenemos que decir que estamos evaluando el recurso eólico en base a datos extrapolados para 2m de altura, y que no hemos incluido una extrapolación vertical de estos datos. Por otro lado, vemos que no hay correlación opuesta entre la generación solar fotovoltaica y la generación eólica. Es decir que hay muchos días donde el factor de planta diario es alto ( $>0.20$ ) para ambos y otros donde la generación eólica es mayor un día de poca generación solar. Sigue siendo interesante que, en algunos casos, el hecho de tener generación eólica cuando hay 2 o 3 días seguidos sin gran generación solar, por ejemplo, entre el 27 y el 30 de enero. No profundizaremos el más el análisis del factor de planta diario, que puede ser interesante y seguramente existen efectos de microclima que se podrían identificar, pero sabiendo que los datos no son datos medidos en sitio, sino que fuentes TMY, pues en este momento no nos permite sacar otra conclusión que la pequeña decepción al descubrir los pocos días muy nublados con viento favorable para nuestro propósito.

En base a los datos de viento, también hemos querido realizar un estudio estadístico para ver si los datos de viento que tenemos siguen la distribución estadística de Weibull muy usada para representar estadísticamente distribuciones de viento. La distribución de Weibull es una distribución de probabilidad cuya función de probabilidad es:

$$f(v) = K/A \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k} \quad (14)$$

donde:

$v$  es la velocidad del viento y es superior a 0

$K > 0$  es el factor de forma

$A > 0$  es el factor de escala

A continuación, presentamos su función acumulada o función de distribución de probabilidad:

$$F(v) = \int_0^v f(z) dz = 1 - e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k} \quad (15)$$

Partiendo de la función acumulada, vemos que es más simple y que aplicando el logaritmo neperiano un par de veces en ambos lados, podemos obtener una relación logarítmica lineal en coeficiente  $A$  y  $K$ . y básicamente es lo que vamos a hacer para estimar los parámetros  $A$  y  $K$  en base a nuestra serie temporal de velocidades. A continuación, mostraremos los pasos de cálculo para identificar  $A$  y  $K$ .

$$\ln(1 - F(v)) = -\left(\frac{v}{A}\right)^k = -e^{k \ln\left(\frac{v}{A}\right)} \quad (16)$$

$$\ln(-\ln(1 - F(v))) = k \ln(v) - k \ln(A) \quad (17)$$

Ahora que hemos presentado brevemente la teoría que hay detrás de la identificación de A y K para una serie de variable (en este caso v), tenemos que presentar los datos de esta manera en Excel e identificar linealmente A y K. Para ello, preparamos una serie de velocidad (bin) de 0 a 30 m.s-1 variando de 0.2 en 0.2.

Luego usamos las funciones “frecuencia” para identificar en nuestra serie de datos horarios de 8760 puntos, cuantas veces las velocidades se encuentran en el rango del bin. Una vez obtenemos este número, construimos la función frecuencia acumulada (F(v)) siendo la suma de las frecuencias desde 0 hasta el bin considerado, y luego aplicamos la ecuación 3 para obtener  $\ln(-\ln(1-F(v)))$  y también creamos una columna  $\ln(v)$ . luego hacemos una regresión lineal de las columnas  $\ln(-\ln(1-F(v)))$  y  $\ln(v)$  e identificamos A y K.

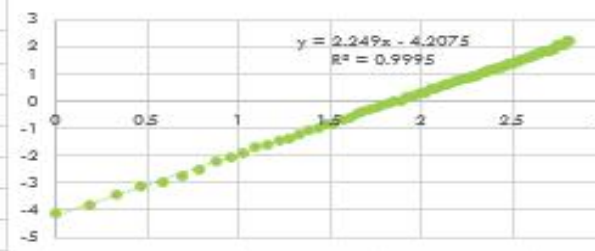
A continuación, presentamos como se presenta la hoja Excel con los resultados de la identificación.



n_(vel)	Wind Speed Bin [m.s <sup>-1</sup> ]	Frecuencia	Frecuencia %	Frec acum	Frec acum % Data	Horas D	Reg Lineal	Obtención parámetros Weibull de los datos de viento				Frec acum % Calculada (parámetros de Weibull)	1- Frec acum	Frecuencia en %	Horas W	P promedio a Wind speed bin	PeL_wind _500W anual por Vbin
	m/s				%										Num	W	W.h annual
	0	0	0	0	0	8760						0	1	0	8760	0	0
-1.609438	0.2	3	0.0003425	3	0.0003425	8757	-7.979168					0.0003987	0.9996013	0.0003987	8756.5073	0	0
-0.916291	0.4	20	0.0022831	23	0.0026256	8737	-5.941143					0.0018938	0.9981062	0.0014951	8743.41	0	0
-0.510826	0.6	16	0.0018265	39	0.0044521	8721	-5.412159					0.0047071	0.9952929	0.0028132	8718.7661	0	0
-0.223144	0.8	31	0.0035388	70	0.0079909	8690	-4.825447					0.0089702	0.9910298	0.0042631	8681.4212	0	0
0	1	70	0.0079909	140	0.0159817	8620	-4.128264					0.0147732	0.9852268	0.005803	8630.5867	0	0
0.1823216	1.2	58	0.006621	198	0.0226027	8562	-3.778275					0.0221777	0.9778223	0.0074045	8565.7231	0	0
0.3364722	1.4	88	0.0100457	286	0.0326484	8474	-3.405409					0.0312226	0.9687774	0.0090448	8486.4903	0	0
0.4700036	1.6	100	0.0114155	386	0.0440639	8374	-3.099666					0.0419269	0.9580731	0.0107043	8392.7208	0	0
0.5877867	1.8	61	0.0069635	447	0.0510274	8313	-2.949319					0.0542918	0.9457082	0.012365	8284.4035	0	0
0.6931472	2	111	0.0126712	558	0.0636986	8202	-2.720864					0.0683021	0.9316979	0.0140103	8161.6733	0	0
0.7884574	2.2	134	0.0152968	692	0.0789954	8068	-2.497502					0.0839268	0.9160732	0.0156247	8024.8012	0	0
0.8754687	2.4	218	0.0248858	910	0.1038813	7850	-2.210167					0.1011202	0.8988798	0.0171934	7874.1872	0	0
0.9555114	2.6	161	0.018379	1071	0.1222603	7689	-2.037109					0.1198229	0.8801771	0.0187027	7710.3518	0	0
1.0296194	2.8	110	0.0125571	1181	0.1348174	7579	-1.932301					0.1399626	0.8600374	0.0201397	7533.9281	0	0.0265569
1.0986123	3	273	0.0311644	1454	0.1659817	7306	-1.7065					0.1614552	0.8385448	0.0214926	7345.6528	10	0.0501767
1.1631508	3.2	181	0.0206621	1635	0.1866438	7125	-1.577038					0.1842058	0.8157942	0.0227507	7146.357	10	0.0477552
1.2237754	3.4	248	0.0283105	1883	0.2149543	6877	-1.418762					0.2081101	0.7918899	0.0239042	6936.9559	10	0.0457629
1.2809338	3.6	57	0.0065068	1940	0.2214612	6820	-1.38495					0.233055	0.766945	0.024945	6718.4381	10	0.0441337
1.3350011	3.8	251	0.028653	2191	0.2501142	6569	-1.24537					0.2589208	0.7410792	0.0258658	6491.8539	10	0.0428174
1.3862944	4	397	0.0453196	2588	0.2954338	6172	-1.049328					0.2855817	0.7144183	0.026661	6258.3039	10	0.041775
1.4350845	4.2	197	0.0224886	2785	0.3179224	5975	-0.960734					0.3129079	0.6870921	0.0273262	6018.9264	10	0.0409767
1.4816045	4.4	242	0.0276256	3027	0.3455479	5733	-0.858123					0.3407665	0.6592335	0.0278586	5774.8853	10	0.0403995
1.5260563	4.6	118	0.0134703	3145	0.3590183	5615	-0.810233					0.3690231	0.6309769	0.0282566	5527.3572	10	0.040026
1.5686159	4.8	252	0.0287671	3397	0.3877854	5363	-0.711979					0.3975434	0.6024566	0.0285203	5277.5197	10	0.0796873
1.6094379	5	346	0.0394977	3743	0.4272831	5017	-0.584537					0.4261942	0.5738058	0.0286508	5026.5387	30	0.1195309
1.6486586	5.2	268	0.0305936	4011	0.4578767	4749	-0.490595					0.454845	0.545155	0.0286508	4775.5575	30	0.1200614
1.686399	5.4	264	0.030137	4275	0.4880137	4485	-0.401288					0.4833692	0.5166308	0.0285242	4525.6854	30	0.1211155
1.7227666	5.6	174	0.019863	4449	0.5078767	4311	-0.343863					0.5116452	0.4883548	0.028276	4277.9879	30	0.1226939
1.7578579	5.8	334	0.0381279	4783	0.5460046	3977	-0.236142					0.5395574	0.4604426	0.0279122	4033.477	30	0.1664076
1.7917595	6	199	0.0227169	4982	0.5687215	3778	-0.173162					0.5669973	0.4330027	0.0274399	3793.1034	50	0.2124456
1.8245493	6.2	225	0.0256849	5207	0.5944064	3553	-0.102693					0.5938643	0.4061357	0.0268669	3557.7491	50	0.2178384
1.856298	6.4	268	0.0305936	5475	0.625	3285	-0.019357					0.6200661	0.3799339	0.0262018	3328.2211	50	0.2242414
1.8870696	6.6	98	0.0111872	5573	0.6361872	3187	0.0110545					0.6455197	0.3544803	0.0254536	3105.2471	50	0.2317225
1.9169226	6.8	331	0.0377854	5904	0.6739726	2856	0.1140194					0.6701516	0.3298484	0.0246319	2889.4717	50	0.3004551
1.9459101	7	203	0.0231735	6107	0.6971461	2653	0.1777317					0.6938979	0.3061021	0.0237463	2681.454	75	0.3753985
1.974081	7.2	198	0.0226027	6305	0.7197489	2455	0.2406448					0.7167048	0.2832952	0.0228068	2481.6663	75	0.3923173
2.00148	7.4	192	0.0219178	6497	0.7416667	2263	0.3026972					0.738528	0.261472	0.0218233	2290.4946	75	0.4115102
2.0281482	7.6	62	0.0070776	6559	0.7487443	2201	0.3230136					0.7593334	0.2406666	0.0208054	2108.2391	75	0.43322
2.0541237	7.8	296	0.03379	6855	0.7825342	1905	0.4224624					0.7790962	0.2209038	0.0197628	1935.1169	75	0.5035029
2.0794415	8	147	0.0167808	7002	0.7993151	1758	0.4737585					0.7978008	0.2021992	0.0187046	1771.2648	90	0.5824431

Obtención parámetros Weibull de los datos de viento

Regresión lineal para obtención del parámetro A et K de Weibull



Resultados Matriz Regresión lineal

Y= ax+b

	a	b
Coef:	2.248957	-4.207508
Error estandar:	0.005826	0.0122398
R^2:	0.9994835	0.0360953

Ojo. La matriz anterior no es muy sencilla de entender.

Coefficientes de Weibull de la distribución de viento:

A	2.248957
K	6.4939478

Frecuencia = f (v)

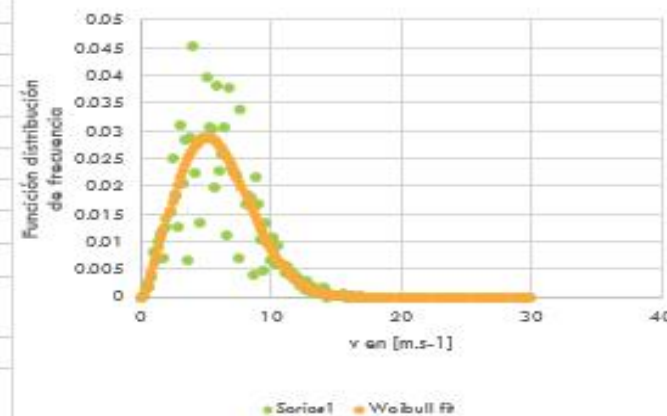


Tabla 14: Estimación de los parámetros Weibull de la serie de viento de fuente meteonorm 7.2



A pesar de tener una muy buena correlación lineal entre las funciones anteriormente descritas con un  $R^2$  de 0.995, podemos observar en la gráfica anterior que entre las velocidades 3 y 10 m.s-1 los valores de la distribución estadística de los datos de viento que tenemos son bastante dispersos alrededor de la curva de Weibull identificada. No detallaremos más los resultados y en particular la producción energética con el método de identificación Weibull ya que usaremos directamente los datos de fuente horaria en nuestra modelización cuasi – estática de la instalación energética. Sin embargo, queríamos presentar el método de Weibull que está muy usado en el mundo de la evaluación de recurso eólico. Sabiendo que la energía anual se puede computar de la siguiente manera, según lo calculemos de manera discreta o integral:

$$E_w = \int_{vmin}^{vmax} f(v) * P(v) dv = \sum_{vmin}^{vmax} f(v) * P(v) \quad (18)$$

De hecho, los programas de recurso de viento como WindPro, WindSim, etc. usan modelos de extrapolación horizontal de los datos de viento en base a una modelización Weibull por sectores (por dirección de viento, el número de sectores pudiendo especificarse). Sin embargo, hay serie de datos de viento medidos u de fuente meso escala que no siguen ben la distribución de Weibull, ni otra distribución normal estadística y existen métodos de cálculos distintos calculando la energía producible global con cálculo directo u resolviendo la ecuación de Navier-Stokes por elementos finitos.

### 6.3 Modelización de la batería

La modelización eléctrica no es tarea sencilla y podemos decir que en la actualidad existen un gran número de investigaciones al respecto, sobre todo para las aplicaciones de vehículos eléctricos, y gran número de modelizaciones multifásicas. En efecto, podemos decir que como mínimo un modelo moderno de baterías incluye los siguientes submodelos:

- Modelización del circuito equivalente de la batería.
- Modelización del Voltaje a circuito abierto en función del estado de carga (SOC).
- Modelización de la capacidad en función de la carga/descarga y eficiencia del proceso.
- Modelización de la capacidad de la batería en función de la intensidad de carga/descarga y temperatura de los electrolitos.
- Modelización de la resistencia interna de la batería en función del SOC.
- Modelización del auto descarga en función de las temperaturas.

- Modelización térmica para determinar las temperaturas de los electrolitos y de los conectores eléctricos.

Notar que, para cada química de las baterías elegidas, introducen variaciones en los modelos presentados, así que pueden introducir más modelos debido a efectos físicos de la química (por ejemplo, el “gassing” de las baterías de plomo-acido).

Recomendamos al lector interesado por la modelización dinámica o cuasi estática de las baterías la lectura de los siguientes artículos:

- Robyn A. Jackey. A simple effective lead acid battery modeling process for electrical system component selection (Lead-acid). MATLAB. 2007 [27]
- Martin Coleman et Al. An improved battery characterization method using a two-pulse load test. IEEE Transactions on energy conversion, Vol 23, NO.2 JUNE 2008. [28]
- Min Chen, A. Ríncón-MORA et AL. An accurate Electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance. IEEE Georgia Tech Analog and Power IC Design Lab. 2005. [29]
- Denis Doerffel et AL. A critical review of using the Peukert equation for determining the remaining capacity of lead acid and lithium-ion batteries. Journal of power sources, ELSEVIER.2005. [30]

Como no tenemos previsto hacer una modelización detallada y dinámica en Excel de cada uno de los submodelos, y que tenemos previsto comparar los resultados de nuestra modelización en comparación con los resultados de PVsyst, nos apoyaremos en la descripción de los modelos usados de PVsyst, cuando la información está disponible. Repasaremos los modelos presentados uno a uno y presentaremos las modelizaciones que se han elegido y/o descartado.

### 6.3.1 Modelización del circuito equivalente de la batería

El modelo del circuito equivalente de la batería litio-ion es distinto al modelo de circuito equivalente plomo acido, y es un modelo básico de Thévenin incluyendo una resistencia interna variable en función de la temperatura y una tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) variable en función del estado de carga. A continuación, presentamos el modelo de una batería:

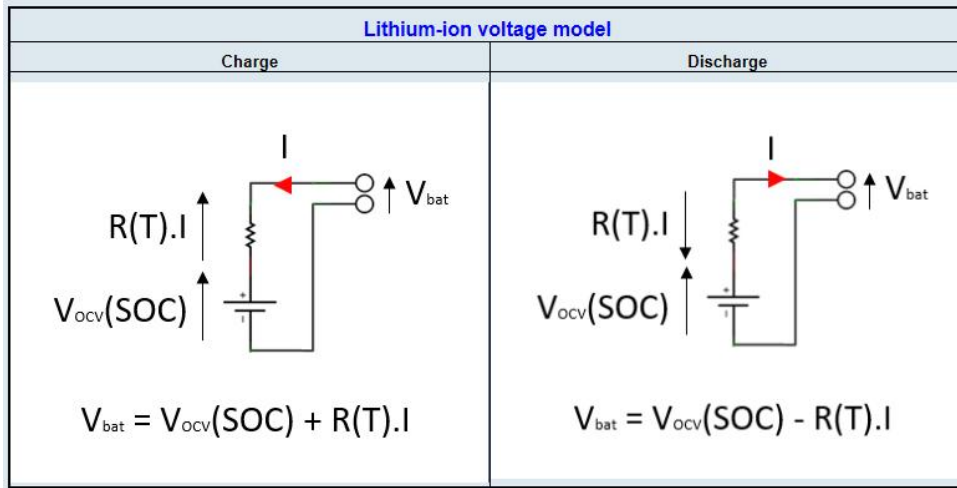


Figura 49: Modelo eléctrico de las baterías de Litio-ion.

Teniendo en cuenta que nuestro arreglo de baterías propuesto consta de 2 módulos en serie, la resistencia interna será igual a 2 veces la resistencia interna especificada por el fabricante, así como la tensión en circuito abierto.

Nota: Min Chen A. Ríncón-MORA et AL. [29] presentan en su estudio, varios modelos derivados del modelo de Thévenin, así como su propio modelo que son un más complejos e implican un estudio más detallado, así como un proceso de experimentación e identificación de los parámetros. Presentamos algunos de estos modelos:

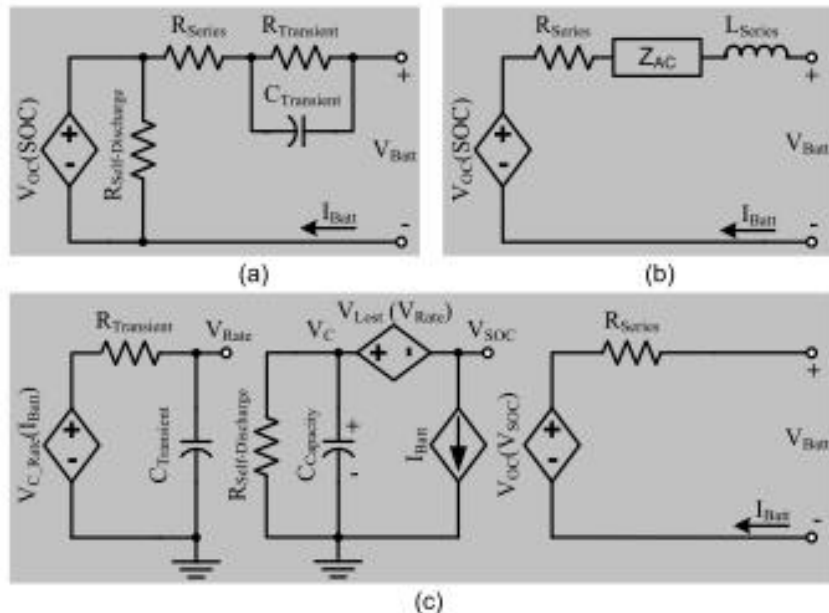


Fig. 1. State-of-the-art: (a) Thevenin-, (b) impedance-, and (c) runtime-based electrical battery models.

Figura 50: Estado de arte de los Modelos eléctrico de las baterías de Litio-ion. Fuente: Min Chen et Al.

### 6.3.2 Modelización de la resistencia interna

La resistencia interna de la batería depende de efectos químico-físicos internos a la batería. Básicamente la ley de Arrhenius que ha sido verificada en muchas experimentaciones de carga/descarga (REF: Lithium-ion batteries and material Cynthia A. Lundgren, Kang Xu, T. Richard Jow, Jan Allen, Sheng S. Zhang) nos da la siguiente relación:

$$R(T) = R(T_{Ref}) * e^{\frac{AE}{8.315} * (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}})} \quad (19)$$

donde:

Tref y T son temperaturas en Kelvin

AE la energía de activación de la reacción química in kj/Mol

R la resistencia interna

También existe un fenómeno de aumento de la resistencia en el final de la carga cuando el SOC es superior al 90%.

A continuación, presentamos para la batería *Tesla PowerWall 2*, la curva de R(T) en % y R(SOC):

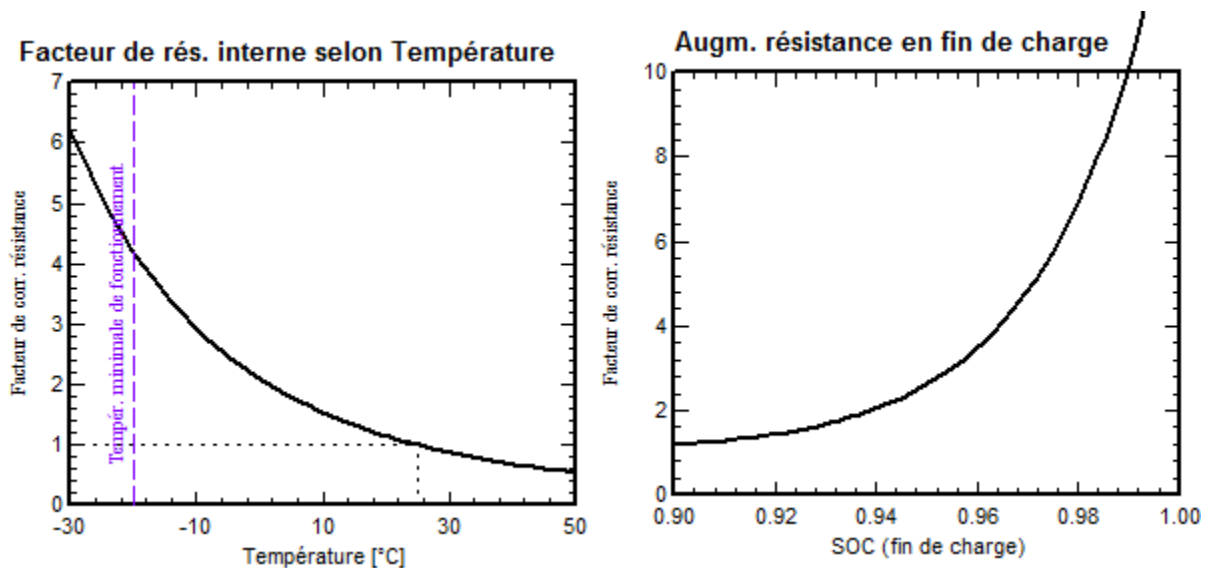


Figura 51: Factor de aumento de la resistencia interna en función de la temperatura (Izquierda) y Aumento de la resistencia en el final de la carga (Derecha).

Sin detallar más los modelos, y en especial la corrección en función del SOC, tenemos que decir que no hemos tomado en cuenta ambos modelos por las siguientes razones:

- La temperatura exterior de los emplazamientos previstos siendo en el rango de temperaturas de un clima tropical al nivel del mar (20-30°C), la temperatura de los electrolitos será entre 20°C y

50°C. Entonces, consideramos visto la curva anterior que estaremos un poco conservador considerando una resistencia interna de  $R(T)=R$  (ósea con un factor 1).

- El rango de funcionamiento de las baterías estando con un SOC entre 0.1 y 0.92, consideramos que el aumento de la resistencia interna entre 0.90 y 0.92 no tendrá gran efecto sobre el balance energético.

### 6.3.3 Modelización de la tensión en circuito abierto en función del estado de carga

Para poder usar el modelo eléctrico, tenemos que determinar  $V_{oc} = f(SOC)$ . Existe también para esta modelización una gran diversidad de modelos en la literatura científica. En este proyecto, usaremos el mismo modelo básico que el modelo de PVsyst:

$$V_{oc}(SOC) = E0 + \alpha * (SOC - 0.5) - K/SOC \quad (20)$$

donde:

$V_{oc}$  es el voltaje a circuito abierto

$E0$  el voltaje de base

$\alpha$  el coeficiente de la pendiente de la zona lineal

$K$  el factor de corrección del SOC a SOC bajo

SOC el estado de carga variando entre 0 y 1.

A pesar de no disponer ni de  $E0$ , ni de  $\alpha$  y  $K$  (PVsyst no proporciona los parámetros), identificamos los parámetros desde la curva que, si proporciona PVsyst, aunque tenemos que decir que hemos introducido un error de estimación debido al hecho que la lectura es grafica. A continuación, presentamos la curva de variación de  $V_{OC}$  para una batería tesla PowerWall 2 así que la curva con los parámetros identificados que hemos preparado en Excel:



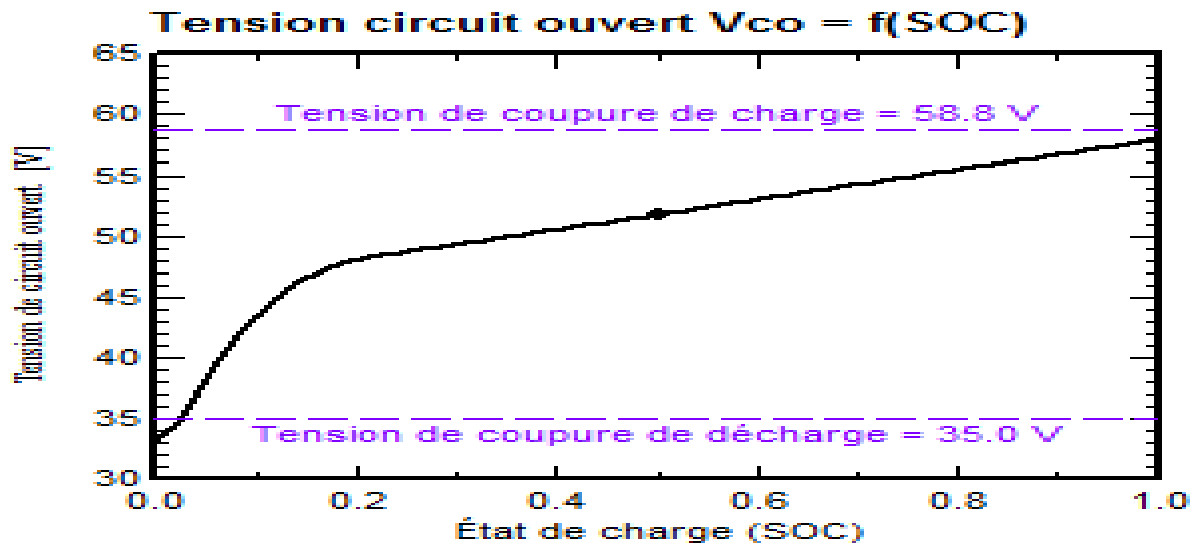


Figura 52: Voltaje a circuito abierto  $VOC=f(SOC)$  de la batería POWERWALL2.

En base a la lectura de la curva de la izquierda, hemos realizado la estimación en base a los algoritmos de identificación Excel y presentamos la mejor estimación que hemos encontrado de la curva anterior, así como la estimación retenida:

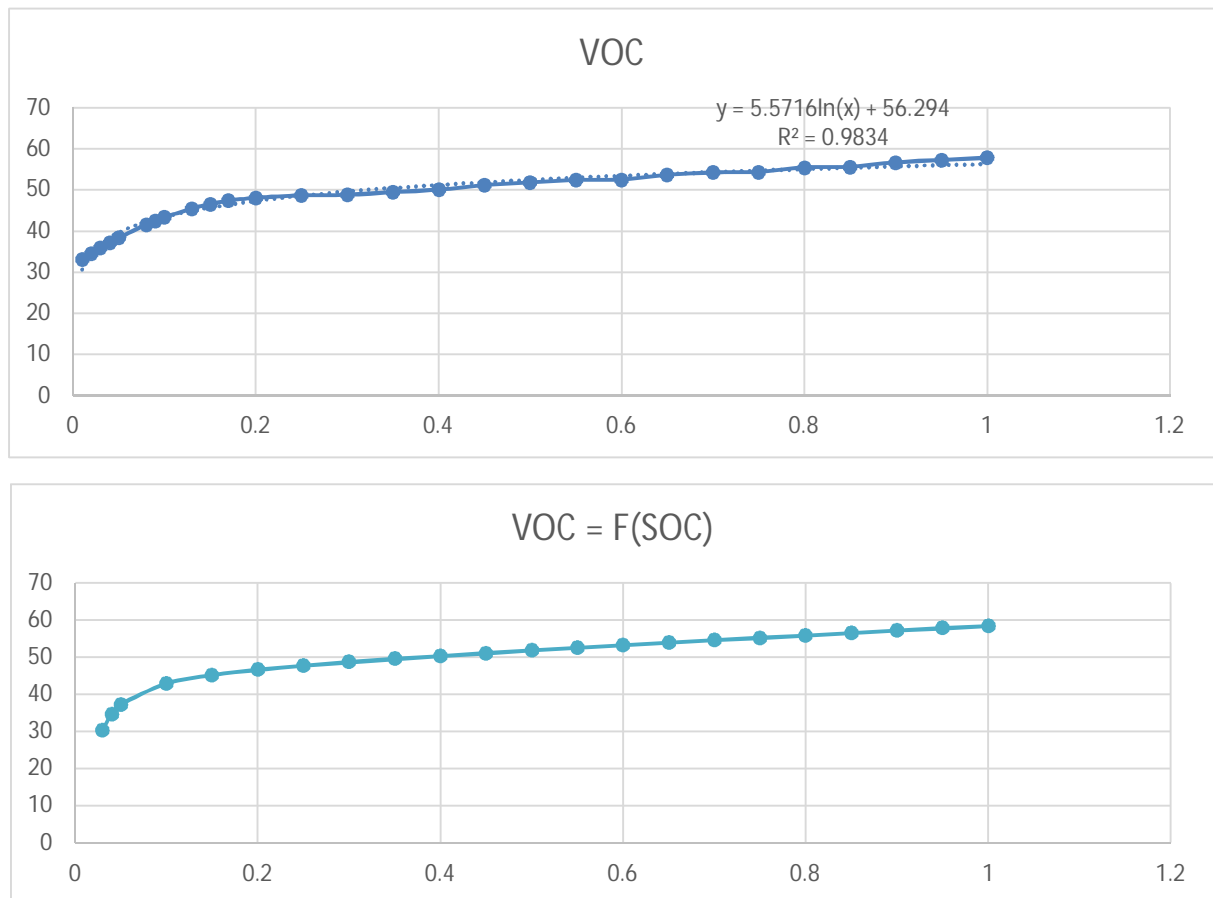


Figura 53: Curva estimadas de  $VOC=F(SOC)$

Los parámetros  $E_0=52.8$ ,  $\alpha=12.32$  y  $K=0.16$  estimados gráficamente a partir de la fórmula (19) son los retenidos para nuestra modelización.

### 6.3.4 Modelización de la capacidad de la batería

La capacidad de la batería es la cantidad máxima de corriente almacenada por la batería y se suele medir en A.h, lo cual no representa estrictamente una energía ya hubiera que por el voltaje para obtener un resultado en W.h o Joules. Sin embargo, históricamente se decidió apostar por el A.h para definir la capacidad de la batería visto que la tensión se consideraba casi-constante. Se puede calcular de manera muy intuitiva la carga de la batería (o cantidad de corriente almacenada) en un instante  $t$  es:

$$Q(t) = Q_0 + \int_0^t I_b(x) dx \quad (21)$$

$$Q_{max} = C \quad (22)$$

donde:

$Q$  es la carga de la batería

$I_b$  la corriente de carga (+) o descarga (-) de la batería

$C$  es la capacidad de la batería

Sin embargo, la representación anterior no tiene en cuenta la realidad física estricta en el sentido de que la capacidad también es una función de la corriente de carga/descarga (charge/discharge rate en inglés), así como de la temperatura y de su envejecimiento. Existen muchos modelos, desde el modelo de Peukert (bastante conocido para las baterías de plomo ácido) hasta nuevos modelos incluyendo el efecto de la temperatura, de la corriente de carga descarga etc.

Por ejemplo, Peukert introdujo en 1897, su famosa ecuación empírica en base a sus experimentos sobre baterías de plomo-ácido con una corriente de descarga constante:

$$I^{pc} \times t = \text{Constante} \quad (23)$$

donde:

I es la corriente de descarga constante

Pc es el coeficiente de Peukert, variando entre 1 y 2. (aprox. 1,02 para litio-ion y 1.14 para plomo-acido, pero depende de cada batería en particular y no solo de la química.)

t la duración de la descarga

De la cual se puede deducir la siguiente expresión sobre la capacidad para una descarga a intensidad constante donde  $Q_{max}=C_n=I \times t$ :

$$C_{n1} = C_n \left( \frac{I_n}{I_{n1}} \right)^{pc-1} \quad (24)$$

Queremos resaltar al lector, que estas expresiones son válidas para descargas a temperatura fija, y con una corriente de descarga constante. El parámetro  $pc=1.02$  es muy pequeño, significa una diferencia del 5% entre C100 y C10 para una batería de litio-ion. Para las aplicaciones almacenamiento de energía solar, la capacidad nominal se debería dar para una descarga de 10 horas aprox. Y los datos que utilizamos para nuestra modelización son de C10 y teniendo en cuenta que tenemos corrientes variables de carga/descarga, en primera aproximación no consideraremos la ecuación de Peukert en nuestra modelización (si hubiéramos tenido un arreglo de baterías de plomo-ácido, sí que lo deberíamos haber tenido en cuenta ya que pc es bastante mayor, entre 1.14-1.40). De todos modos, aconsejamos la lectura del artículo científico [30]. Con el crecimiento de la industria de baterías para aplicaciones de vehículos eléctricos, y el creciente interés en la modelización de las baterías, modelos más completos como el modelo estándar de MatLab para las baterías de litio tiene en cuenta el siguiente modelo:

$$C(I, \theta) = \frac{Kc \times C0 \times Kt}{1 + (kc - 1) \left( \frac{I}{I'} \right)^\delta}, Kt = Lu(\theta) \quad (25)$$

donde:

Kc es una constante

$\theta$  la temperatura de los electrolitos

C0 es la capacidad a 0°C sin carga

I la corriente de descarga

Kt es un coeficiente dependiendo de unas tablas de temperaturas

I' la corriente de descarga nominal

$\delta$  una constante

De todos modos, tenemos que definir el estado de carga de la batería:

$$SOC(t) = \frac{Q(t)}{C_{10}} \quad \text{y} \quad DOD(t) = 1 - SOC(t) \quad (26)$$

donde:

SOC es el estado de carga ("State of Charge" en inglés) y DOD es la profundidad de descarga ("Depth of Discharge" en inglés)

También, experimentalmente, se puede cuantificar el envejecimiento de la batería (por muchas razones, disminución de superficie de contacto de los electrodos, rotura parcial del separador de electrolitos, presencia de productos de la reacción química no deseable...) gracias a la ecuación siguiente:

$$SOH = \frac{C_{10 \text{ aged}}}{C_{10 \text{ nuevo}}} \quad (27)$$

Se pueden obtener el SOH experimentalmente, procediendo a una descarga completa después de un tiempo de utilización (Aged), donde se va contando todos A.h que proporciona la batería (método de Coulomb).

### 6.3.5 Modelización del auto descarga de la batería

El auto descarga de la batería es un fenómeno que tiene lugar, aunque la batería no se esté usando. Todos hemos experimentado de alguna manera el hecho de que nuestro coche no arranca después de no haberlo utilizado durante un tiempo, y también sabemos que a las baterías no les gustan las bajas temperaturas. Con lo cual es un conocimiento común, sobre todo en los países fríos que, si uno no va a utilizar su coche en invierno, esta persona debería desconectar la batería de plomo-acido y almacenarla en un lugar menos frío. Sin embargo, no hemos encontrado fuentes de modelización que no están de pago (la IEEE tiene algunos artículos que parecen interesantes, pero no los hemos podido consultar), y solamente encontramos el rango de descarga del batería aproximado por mes. Este último suele ser entre 2-6% para las baterías Li-ion. Sabiendo que tendremos muchas cargas/descargas (una carga y una descarga por día) durante el mes, y sin tener una idea clara de cómo aplicar el auto descarga de la batería, no modelizaremos las pérdidas por auto descarga.

Nota: Intuitivamente, sabiendo que la batería casi siempre esta o en carga o en descarga, creemos que la perdida por auto descarga aplicaría durante los momentos donde la generación solar supera la demanda de consumo y que la batería está llena, pero se tendría que estudiar y experimentar.

Nota2: PVsyst considera una corriente de autodescarga constante con respecto al tiempo, independientemente del estado de batería (carga/descarga/standby y del régimen de carga o descarga). Sin embargo, es una función de la temperatura de funcionamiento de las baterías. No la hemos considerado.

### 6.3.6 Eficiencia Energética de los procesos de carga y descarga de la batería

Con respecto a la eficiencia de las baterías, tenemos que decir que hemos encontrado poca información sobre la eficiencia de las baterías Litio-Ion. La mayoría de los artículos científicos al respecto siendo de pago, no hemos podido consultarlos. Sin embargo, como todos los procesos de transformación energética, entendemos el principio base de la eficiencia de un ciclo de carga/descarga:

$$\eta_{ciclo} = \frac{E_{descarga\ eff}}{E_{carga}} \quad (28)$$

donde:

$\eta_{ciclo}$  es la eficiencia de un ciclo de carga/descarga

$E_{descarga\ eff}$  es la energía utilizable tras una descarga completa de la batería

$E_{carga}$  es la energía proporcionada a la batería para realizar una carga completa

Como se puede ver en la expresión anterior, el dato de eficiencia energética para la batería es un dato integral sobre todo el ciclo de carga/descarga para ciclos completos. Sin embargo, a falta de otros datos sobre la eficiencia, haremos la hipótesis que la eficiencia energética instantánea de carga y de descarga sea constante de manera que tengamos el cumplimiento de las ecuaciones siguiente:

$$E_{descarga\ eff} = \int P_{descarga}(t) * \eta_{descarga}(t) dt = E_{descarga} * \eta_{descarga} \quad (29)$$

donde:

$E_{descarga}$  es la energía descargada (descontada) de la batería para proporcionar  $E_{descarga\ eff}$  al usador

$P_{descarga}$  es la potencia descargada (descontada) de la batería para proporcionar  $P_{descarga\ eff}$  al usador

$\eta_{descarga}$  es la eficiencia del proceso de descarga de la batería

$$E_{carga\ eff} = \int P_{carga}(t) * \eta_{carga}(t) dt = E_{carga} * \eta_{carga} \quad (30)$$

donde:

$E_{carga}$  es la energía proporcionada a la batería para que se cargue de  $E_{carga\ eff}$

$P_{carga}$  es la potencia proporcionada a la batería para que se cargue de  $P_{carga\ eff}$

$\eta_{carga}$  es la eficiencia del proceso de carga de la batería

Por lo tanto, podemos deducir de las ecuaciones anteriores:

$$\eta_{ciclo} = \frac{E_{descarga\ eff}}{E_{carga}} = \eta_{carga} * \eta_{descarga} \quad (31)$$

Si consideramos que  $\eta_{carga} = \eta_{descarga}$ , a falta de información sobre el tema, deducimos que  $\eta_{carga} = \eta_{descarga} = \sqrt{\eta_{ciclo}} = 0.958$  ya que la ficha técnica de la batería Tesla Powerwall 2 nos da  $\eta_{ciclo} = 0.918$ , que es el parámetro promedio utilizado en nuestra modelización.

### 6.3.7 Modelización de la durabilidad de la batería.

Idealmente, el movimiento de los iones entre los electrodos de la batería, así como las reacciones químicas que tienen lugar son reversibles, y se puede realizar cargas tras descargas y viceversa. Pero la física, como enuncia el segundo principio de la termodinámica ( $\Delta Stot > 0$ ), es irreversible y existen fenómenos irreversibles en una batería y por lo tanto envejecen y se degradan.

Para medir el estado de degradación de una batería, es común introducir su estado de uso o State of Wearing:

$$SOW_X = \frac{CX_{aged}}{CX_{nominal}} \quad (32)$$



donde CX es la capacidad para una duración de descarga de X horas.

Para verificar el estado de uso de la batería, los fabricantes e investigadores, proceden a ciclos de carga/descarga previstos e identifican el número el SOW tras un número de ciclo. Por ejemplo, la figura siguiente muestra la capacidad de diferentes baterías CADEX 7400 1500mah nuevas durante 250 ciclos y tras unas descargas programadas completas (*full charge – full discharge*).

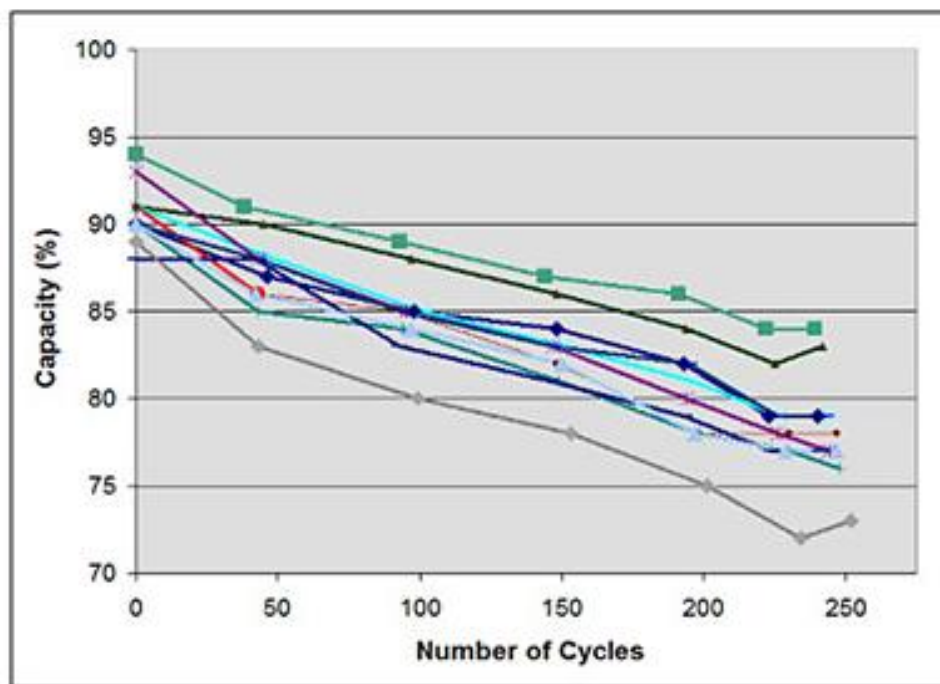


Figura 54: Pérdida de capacidad a lo largo de los ciclos tras cargas/descargas completas. Source: CADEX via Batteryuniversity.com

Por otro lado, la profundidad de carga/descarga tiene una gran importancia sobre el SOW. A veces, se encuentran gráficos respecto al SOW, y otras respecto al número máximo de ciclo para el cual el SOW ha bajado al 70%. Cuando mayor es el DOD, menor es el número máximo de ciclo que pueda realizar la batería para llegar al SOW 70%. Dicho de otra manera, se puede prolongar la vida de la batería si tiene ciclos de carga/descarga no muy profundos. A continuación, se presenta una tabla del número de ciclos de vida en función del DOD:

Depth of discharge	Discharge cycles	
	NMC	LiPO <sub>4</sub>
100% DoD	~300	~600
80% DoD	~400	~900
60% DoD	~600	~1,500
40% DoD	~1,000	~3,000
20% DoD	~2,000	~9,000
10% DoD	~6,000	~15,000

Tabla 15: Numero de ciclos de vida como función del DOD para diferentes químicas de baterías

Por otro lado, hay estudios que presentan modelos de la degradación de las baterías de litio-ion durante su ciclo de vida, donde investigan la reducción de la capacidad en función del rango de SOC usado en carga/descarga. A continuación, se presentan los resultados del estudio "Göran Andersson et AL., Modeling of lithium ion battery degradation for cell life assesment, IEEE Transactions on smart grid. [31]

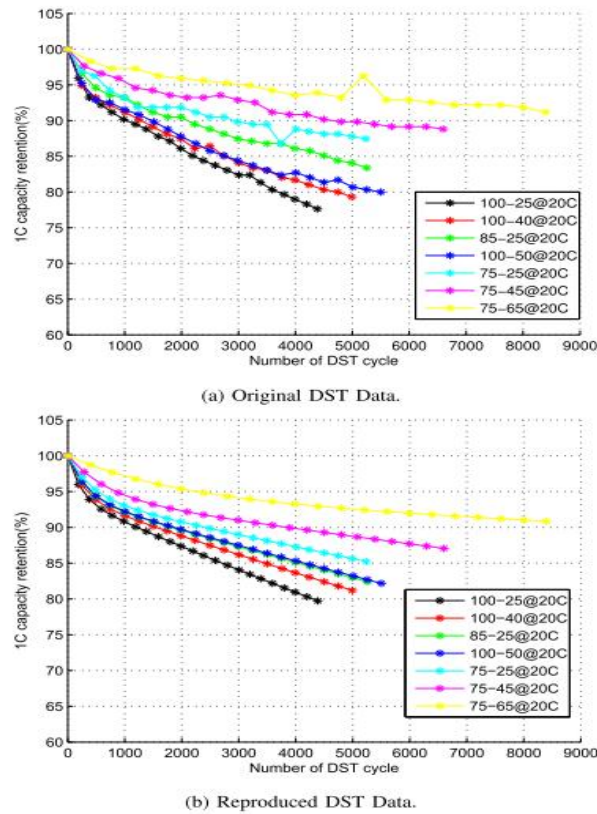


Figura 55: Pérdida de capacidad a lo largo de los ciclos tras cargas/descargas completas. Source: [31]

El número de ciclos para una batería de Tesla Power Wall2 según PVsyst, cuyo modelo (ver figura 55 siguiente) es muy similar a los de la tabla 15, es bastante inferior a los datos presentados en la gráfica anterior (>4000 ciclos para DOD de 75%), sin que podamos explicarlo de otra manera que suponiendo que la diferencia proviene de la tecnología.

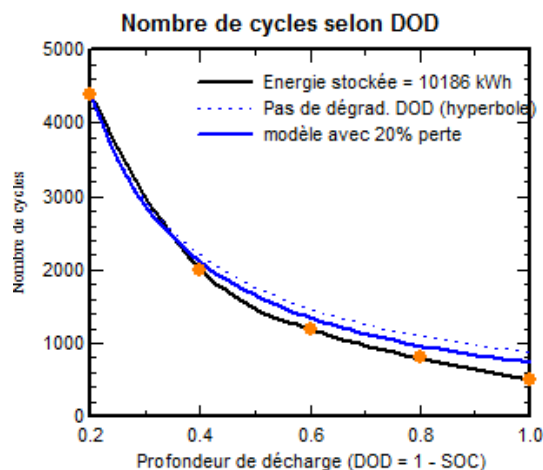


Figura 56: Numero de ciclos en función de la profundidad de las descargas. Modelo PVsyst de la batería Powerwall2.

Además, cabe la posibilidad que el modelo de Pvsyst sea un modelo empírico que iba bien con respecto a la tecnología de hace algunos años ya, y que se haya quedado obsoleto (o por lo menos que no se ajusta) a las tecnologías más recientes. De hecho, hemos encontrado la garantía de las baterías Tesla para Australia y Nueva Zelanda (seguramente son similares en todos los países), y la batería está garantizada 10 años con un SOW del 70% para un número de ciclos ilimitado o 37.80 MWh de energía cargada (ver garantía de las baterías Tesla Powerwall2 Anexo II.4), lo cual es más de 3 veces superior a la energía almacenada total en el modelo de PVsyst. Por lo tanto, nos extrañó cuando el programa anuncia que la Energía total almacenada durante la vida del conjunto de las 4 batería sea de 35.357 MWh y que para un DOD del 80%, tendríamos 800 ciclos de vida de la batería, lo cual corresponde a solo 2.2 años de vida. Por el otro lado si extrapolamos la garantía de la batería, sabiendo que en un año se almacena unos 11.7 Mwh para el escenario Fijo elevación 40°, en 10 años de vida de la batería, no llegaríamos al umbral de 154.4 MWh garantizados por Tesla (de hecho, harían falta 13.2 años para llegar a esta cantidad de energía almacenada).

A la hora de analizar los ciclos de vida de las baterías, tenemos otro problema, siendo que no tenemos ciclos de cargas y de descargas homogéneos, debido a la variabilidad de las fuentes renovables que cargan la batería y, por lo tanto, no tenemos claro como estimar el número de ciclos de vida del conjunto de batería con respecto a la distribución de frecuencia de DOD, además de que el modelo de PVsyst nos parezca equivocado por lo menos para las nuevas baterías de su base de datos, no nos atreveremos a dar un número de ciclos u duración de vida de las baterías de nuestra instalación. Uno, podría coger el promedio de la distribución de frecuencia de los DOD e interpolarlo con una curva Numero Ciclos = F(DOD), se puede obtener una estimación del número de ciclos que podrá realizar la batería y de ahí se pueden comparar a los resultados de los otros escenarios.

A continuación, presentamos 2 distribuciones de frecuencia de la DOD de las baterías para un año TMY, se presenta el resultado de DOD de la variante de cálculo VC0 (Solar con elevación 40°), a la izquierda considerando solo la instalación solar y a la derecha considerando la instalación solar y eólica (4 eólicas SILENT WIND 500W) con el algoritmo de gestión de cargas funcionando.

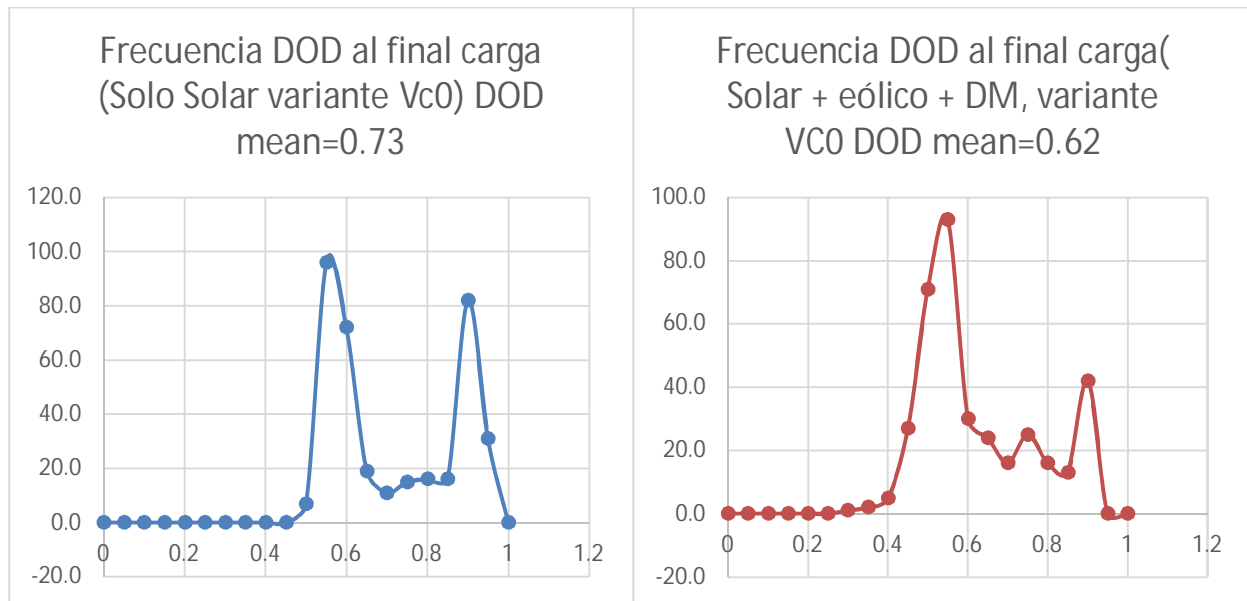


Figura 57: Distribución de frecuencia de la DOD al final de las cargas para dos variantes de cálculo.

Nota: De hecho, muchos fabricantes, proporcionan la información mínima, reteniendo los datos técnicos para mejorar al nivel de marketing su oferta). Por ejemplo, el DOD de 100% no puede ser cierto ya que se dañan las baterías a SOC muy bajo y alto, y seguro que lo que ocurre es que se ha disminuido la capacidad real de la batería a una capacidad utilizable (por ejemplo 90%) y que el dato de 13.5kwh de capacidad representa solo el 90% de la capacidad real. Nuestra intención aquí no es tirar una piedra a los fabricantes, pero queremos avisar al lector interesado por los temas de energías renovable que existen trampas comerciales en los datasheets. Otro ejemplo es el de la potencia nominal de las eólicas: algunos tecnólogos proporcionan datos de eólicas que presentan como el modelo XX3000 de 3MW y que para el mismo viento produce y% más de energía anual, y una vez que se descargan las curvas de potencia, se ve que la maquina produce hasta 3,3MW en vez de los 3MW dada como la potencia nominal, y de aquí la diferencia cuando se compara a una maquina 3MW de otro constructor. Si no se tiene cuidado con estas cosas, podemos caer en la trampa de marketing de la empresa y los gráficos Excel también mostraran un mejor factor de planta con dicha eólica comparado con otras de 3MW para el mismo viento y a misma altura de buje.

### 6.3.8 Resumen de la modelización propuesta del conjunto de baterías.

En conclusión, de este apartado, a efectos en nuestra modelización, utilizaremos las siguientes ecuaciones:

$$Q_{max} = C10 \quad (33)$$

$$Q(t) = Q_0 + \int_0^t I_b(x) dx \quad (34)$$

$$SOC(t) = \frac{Q(t)}{C10} \quad (35)$$

$$Voc(SOC) = E0 + \alpha \times (SOC - 0.5) - K/SOC \quad (36)$$

Durante la carga de la batería:

$$V_{bat} = V(SOC) - R \times I_b \quad (37)$$

$$Q(t) = Q_0 + \eta_{carga} \times E_{carga} \quad (38)$$

durante la descarga de la batería:

$$V_{bat} = V(SOC) - R \times I_b \quad (39)$$

$$Q(t) = Q_0 - \frac{E_{descarga\ eff}}{\eta_{descarga}} \quad (40)$$

## 6.4 Gestión de la batería

En base a la modelización anterior para obtener el estado de carga, el voltaje de la batería vamos a introducir el diagrama de gestión de la batería.

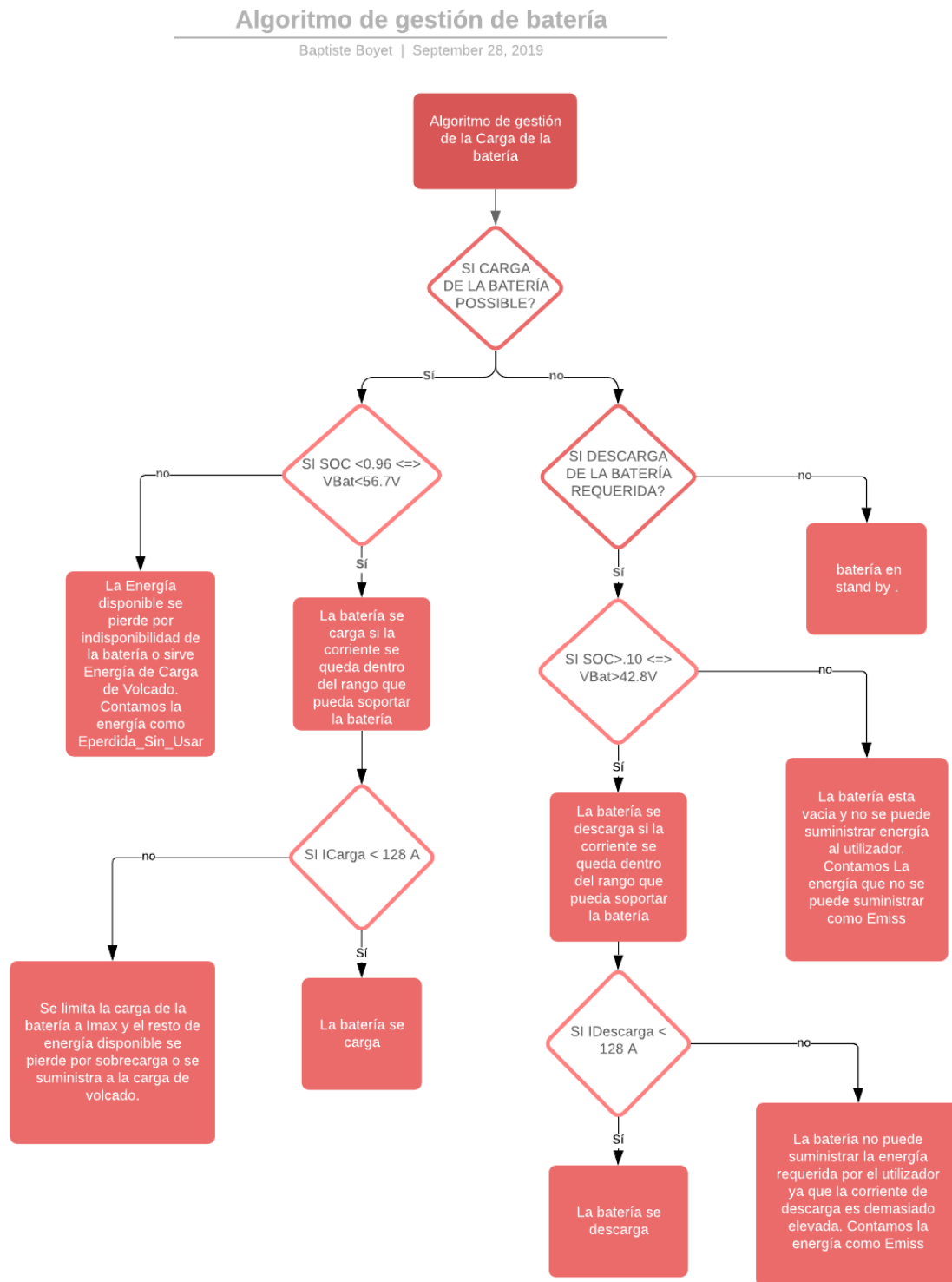


Figura 58: Diagrama del algoritmo de gestión de la batería



Para resumir en pocas palabras, el diagrama anterior describe como se realizan las cargas y descargas de las baterías y a dónde va la energía (si carga la batería, va al usuario, se pierde porque la batería está llena...). Lo hemos presentado de manera de un diagrama de decisión en base a la respuesta a preguntas sobre el estado de las variables fundamentales de la batería ( $U$ , SOC,  $I$ ) para que refleje tanto el método de cálculo en Excel (en base a las funciones SI( ecuación; si cumple ecuación; si no cumple ecuación) ) y en la realidad por toma de medidas de las variables  $U$ , SOC e  $I$  para que el microcontrolador analice las medidas y aplique el algoritmo programado.

Queremos hacer resaltar al lector, que como el análisis que hemos realizado se base en cálculos horarios, El diagrama anterior no tiene en cuenta la limitación por variación dinámica pico de la intensidad de carga y descarga, ósea el límite térmico que pueda soportar la batería sin dañarse. Por otro lado, visto los resultados de la simulación que hemos realizado,  $I_{\text{carga max horaria}}=110\text{A}$  e  $I_{\text{descarga max horaria}}=36\text{A}$ , con lo cual siempre se cumplen las condiciones adecuadas de carga/descarga cuasi estática de las baterías y se deberá de tener en cuenta las intensidades pico dinámicas en una modelización posterior, así como en los dispositivos de protección de la batería.

### 6.5 Gestión energética

En este apartado, vamos a realizar el análisis de la gestión energética de la plataforma OPOMLI y acabar de introducir la nomenclatura de las variables que hemos elegido en nuestra modelización. También, completaremos el diagrama anterior de gestión de la batería para determinar, en termino Energético, a que corresponden las preguntas: ¿Si carga de la batería posible? y ¿Si descarga de la batería necesaria?

Como, ya hemos comentado en varias ocasiones que la modelización anterior se realiza en base a datos horarios, a continuación, presentamos la nomenclatura que hemos elegido para los variables horarios de nuestra modelización

*Como Inputs horarios que sacamos de los archivos resultados de PVsyst, tenemos:*

- EArray ..... Energía efectiva en salida del generador fotovoltaico<sup>1</sup>
- E\_Avail ..... Energía efectiva disponible al consumo (después de los convertidores) <sup>1</sup>
- WindVel ..... Velocidad del viento

*Luego usaremos la misma nomenclatura que PVsyst para los variables:*

- ChrgON ..... Esta en carga la batería
- DischON ..... Esta en descarga la batería
- U\_batt ..... Tensión batería (ver 6.3.8)
- I\_batt ..... Corriente de carga o descarga de la batería (ver 6.3.8)
- E\_load ..... Energía requerida por las cargas previstas
- E\_User ..... Energía Suministrada al utilizador

- $E_{miss}$  .....Energía faltante para sustentar la load prevista

*Y por último creamos los variables siguientes para llegar acabo nuestra modelización:*

- $E_{Perdidas\_sin\_usar}$  .....Exceso de Energía producida<sup>1</sup>
- $E_{Pv\_Avail}$ .... Energía Solar fotovoltaica disponible en salida del arreglo de paneles<sup>1</sup>
- $E_{Wind\_Avail}$  ..... Energía Eólica horaria generada (ver 6.2)
- $E_{gen\_available}$ .....Energía Solar Fotovoltaico producida +  $E_{Wind}$  (antes de los convertidores).
- $E_{Gen\_eff}$ ..... *Energía producida efectiva (después de los convertidores)*
- $C_{battery}$  ..... Capacidad disponible de la batería al principio de la hora (ver 6.3.8)
- $SOC\_inicial$  ..... Estado de carga inicial al principio de la hora (ver 6.3.8)
- $SOC\_mean$  ..... Estado de carga inicial al promedio durante la hora (ver 6.3.8)
- $E_{battery}$  ..... $E_{carga}$  (si carga on) o  $E_{descarga\_eff}$  (si descarga on) (ver 6.3.8)

Nota <sup>1</sup>: Antes de exponer el diagrama de gestión energética, tenemos que aclarar la relación entre  $E_{Avail}$  y  $E_{Array}$ , ya que nos costó entender la relación entre ambos a falta de explicación de PVsyst en su Manual de utilizador, y necesitamos actuar sobre esos variables para obtener  $E_{gen\_available}$ . PVsyst define  $E_{Avail}$  como la Energía disponible después de los convertidores, y  $E_{Array}$  como la Energía efectiva en salida del conjunto fotovoltaico (antes de los convertidores), ver diagrama de Sankey (figura 37). Sin embargo, nos hemos dado cuenta de que la suma anual de  $E_{Avail}$  es superior a  $E_{Array}$ , y hemos deducido que  $A_{avail}$  también incluía la energía perdida debido al hecho de que las baterías estén llenas. Entonces, se deduce:

$$E_{Avail}(t) = (E_{Array}(t) + E_{Perdidas\_Sin\_Usar}(t)) \times \eta_{convertidor}(t) \quad (41)$$

Por lo tanto, hemos reconstruido la variable energética de generación que nos interesa a nosotros, que representa la energía horaria generada por los arreglos fotovoltaicos una vez descontadas las perdidas óhmicas (ver diagrama de Sankey):

$$E_{Pv\_Avail}(t) = E_{Avail}(t) / \eta_{convertidor}(t) \quad (42)$$

Ahora que tenemos aclarado la construcción de la Energía Fotovoltaica horaria disponible antes de los convertidores y de descontar la energía que no se puede usar debido al hecho que la batería este llena, lo cual ha sido sinceramente un rompecabezas, porque no tenemos  $E_{Perdidas\_Sin\_Usar}$  en el archivo de

salida de PVsyst, y hemos tenido que averiguar que eran exactamente las Energías del Archivo CSV resultado de PVsyst, podemos, sin gran dificultad seguir con nuestra modelización:

$$E_{\text{GenAvail}}(t) = E_{\text{PvAvail}}(t) + E_{\text{WindAvail}}(t) \quad (43)$$

$$E_{\text{Geneff}}(t) = \eta_{\text{convertidores}} \times E_{\text{GenAvail}}(t) \quad (44)$$

$$E_{\text{battery}}(t) = E_{\text{carga}} \text{ (si carga on)} = E_{\text{descarga\_eff}} \text{ (si descarga on)} \quad (45)$$

$$C_{\text{battery}(h+1)} = C_{\text{battery}(h)} + \frac{E_{\text{battery}}}{\eta}(h) \text{ y } C_{\text{batterymean}} = \frac{C_{\text{battery}}(h+1) + C_{\text{battery}}(h)}{2} \quad (46)$$

La carga  $E_{\text{load}}$  es la distribución horaria de la Load que hemos presentado en XX, y es constante (PVsyst lo considera de la misma manera), aunque no se puede suministrar el utilizador. Por lo tanto, se define  $E_{\text{User}}$  la energía proporcionada al utilizador. Cuando la generación o la batería puede proporcionar toda la carga,  $E_{\text{User}}=E_{\text{Load}}$  si no, la diferencia es  $E_{\text{miss}}$ , la energía faltante para satisfacer la demanda. En definitiva, tenemos:

$$E_{\text{Load}}(t) = E_{\text{user}}(t) + E_{\text{miss}}(t) \quad (47)$$

A continuación, presentamos el algoritmo de gestión energética que completa el diagrama anterior de gestión de la batería en función de la Energías generadas y demandadas por la plataforma.

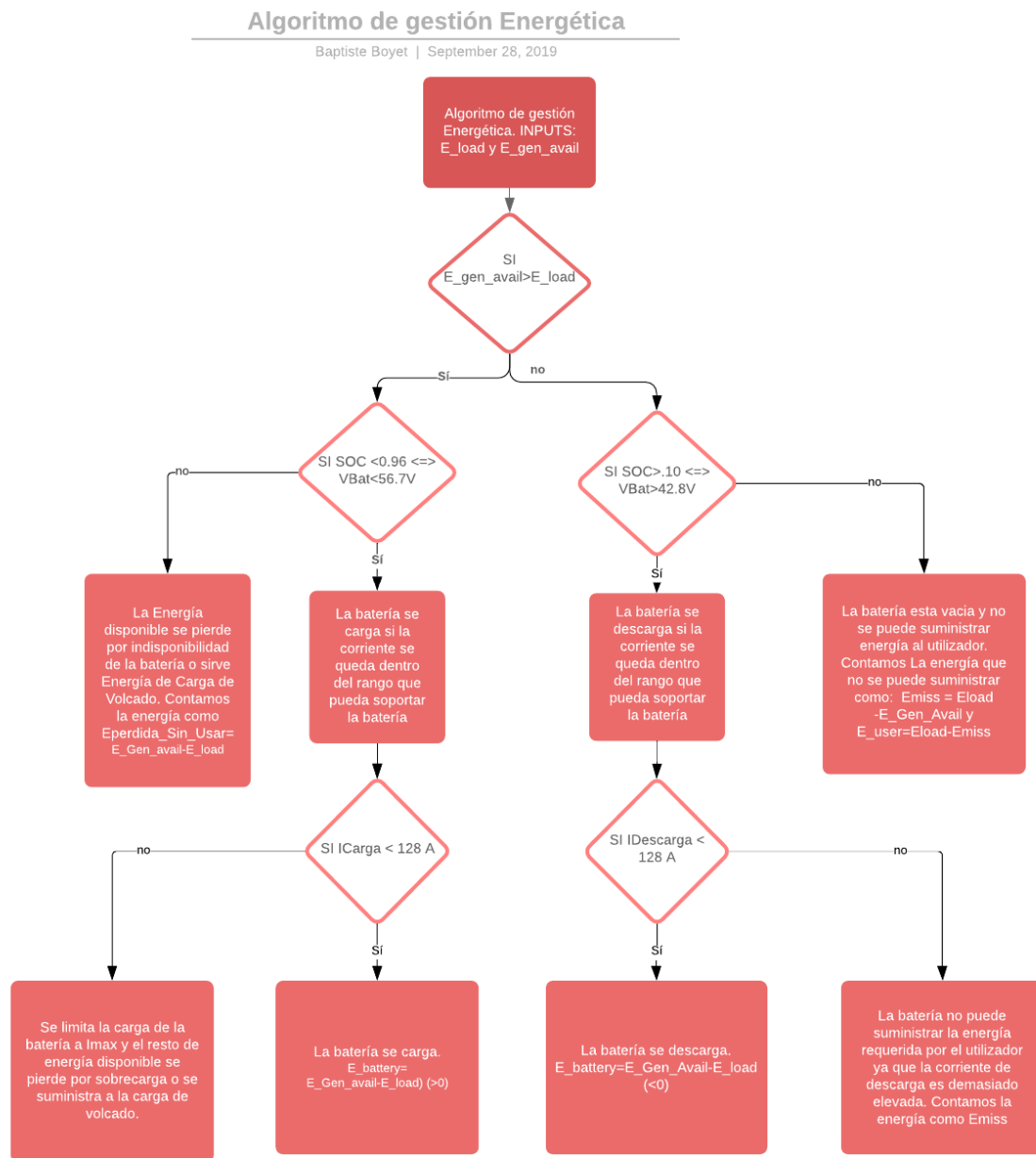


Figura 59: Diagrama del algoritmo de gestión energética completando el diagrama de gestión de la batería.

Gracias al algoritmo anterior, hemos desarrollado en Excel la hoja de cálculo en base a ecuaciones con condiciones tipo SI (test; si test verdadero; si test falso), de manera a simular energéticamente la instalación de manera casi estática, en base a resultados .csv de PVsyst y los parámetros técnicos básicos de los equipos, sin considerar la dinámica con temporalidad inferior a la hora.

La hoja de cálculo está hecha de manera que este sencillo separar las simulaciones en tres tipos:

- Una simulación únicamente Solar fotovoltaica (BB SOLAR)
- Una simulación añadiendo fuente de generación Eólica (BB SOLAR EÓLICO)
- Una simulación añadiendo el algoritmo de gestión energética (BB ... + DM)

Antes de simular la gestión energética de la plataforma con eólica y con gestión de la carga, debemos validar el modelo inicial de gestión energética respecto al de PVsyst, y luego añadiremos los otros modos de simulación.

## 6.6 Validación del modelo Excel comparado con los resultados PVsyst

Para validar nuestra hoja de cálculo Excel, en base al archivo resultado de las simulaciones PVsyst, considerando que no haya fuentes de generación eólica, comparamos los resultados del archivo PVsyst a los de nuestra modelización. Este análisis se realiza al nivel anual, mensual y horario. A continuación, presentamos los resultados de PVsyst para el escenario de paneles fijos a 40° sin ajuste estacional del ángulo de elevación.

	BB SOLAR ALGORITHM	PVsyst SOLAR ALGORITHM	Unidad
E_User	23344	22892	kwh
E_miss	1407	1818	kwh
E_Sin Usar	3188	3751	kwh
E_load	24709	24709	kwh
E_gen_Avail	27483	27483	kwh
E_gen_eff	24296	23741	kwh

Tabla 16: Resultados anuales del algoritmo de gestión energética comparado con PVsyst.

En la tabla de resultados anuales anterior, podemos ver que el algoritmo que hemos diseñado funciona en base a las mismas variables de entrada (Input) E\_Load y E\_gen\_available. También vemos en los resultados que E\_user es ligeramente superior en nuestro caso que en el caso de PVsyst, E\_miss y E\_Sin usar es ligeramente inferior para nuestro algoritmo. A continuación, presentamos los resultados mensuales del balance energético resultando de PVsyst así como el resultado del algoritmo presentado anteriormente:

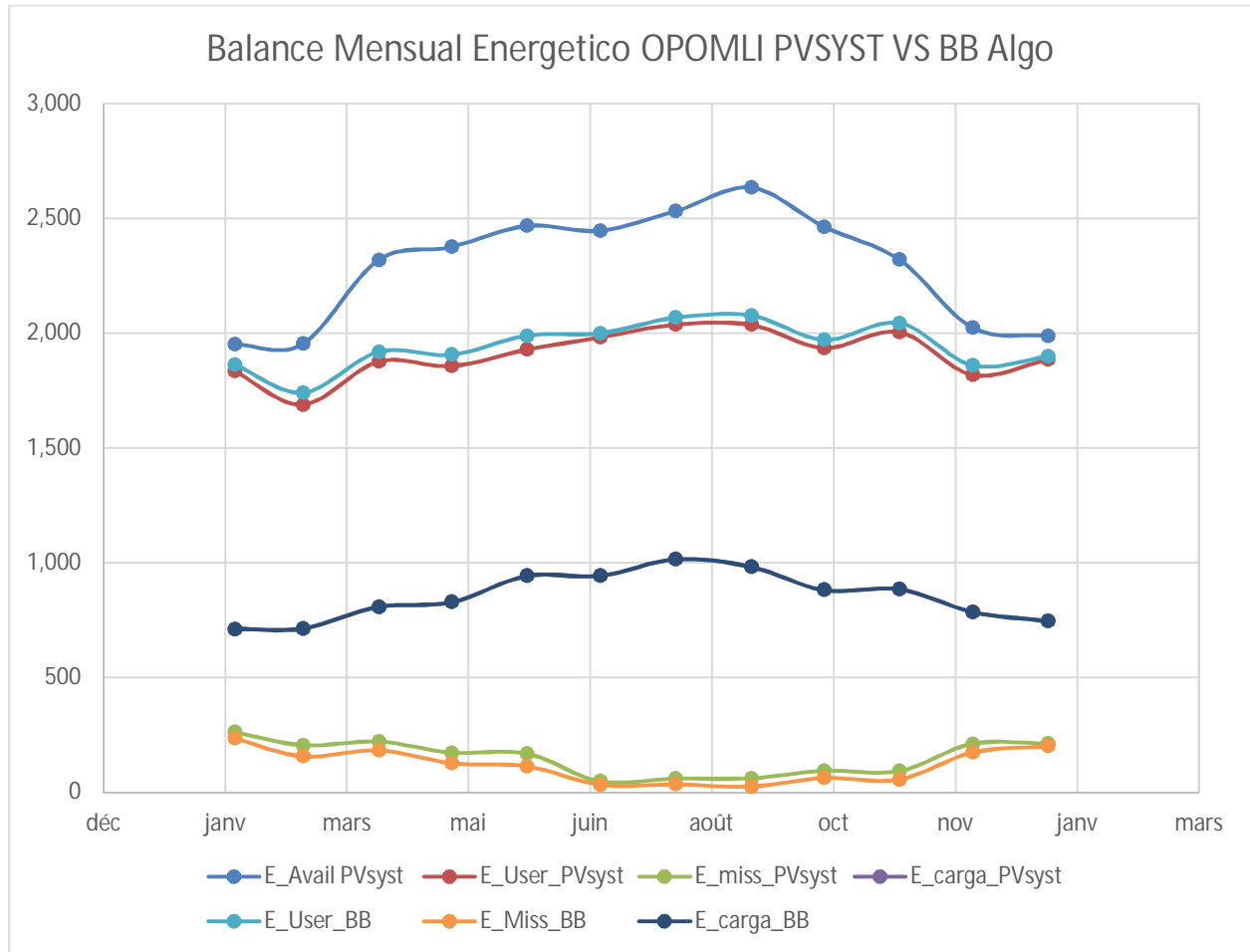


Figura 60: Resultados mensuales del algoritmo de gestión energética vs el algoritmo PVsyst.

Con los resultados anteriores, se confirma el análisis anterior sobre los resultados anuales de la gestión energética. Además, podemos añadir que vemos que cuando la variación entre  $E_{miss}$  disminuye, la Variación entre  $E_{User}$  también. Esto se ve claramente para el mes de junio. Ósea, cuando menos energía faltante debido al hecho que la batería este vacía, más parecidos son los resultados de los algoritmos. Para entender la fuente de variación entre nuestro algoritmo y el de PVsyst, tenemos que trazar el SOC\_mean horario. Durante la construcción del Excel que hemos realizado, tras probar muchos gráficos para entender la diferencia entre los resultados y ajustar los parámetros (SOCmean, SOCmax, eficiencia carga/descarga, eficiencia convertidores...), el gráfico que nos dio la clave sobre la variación de los resultados es el gráfico siguiente:

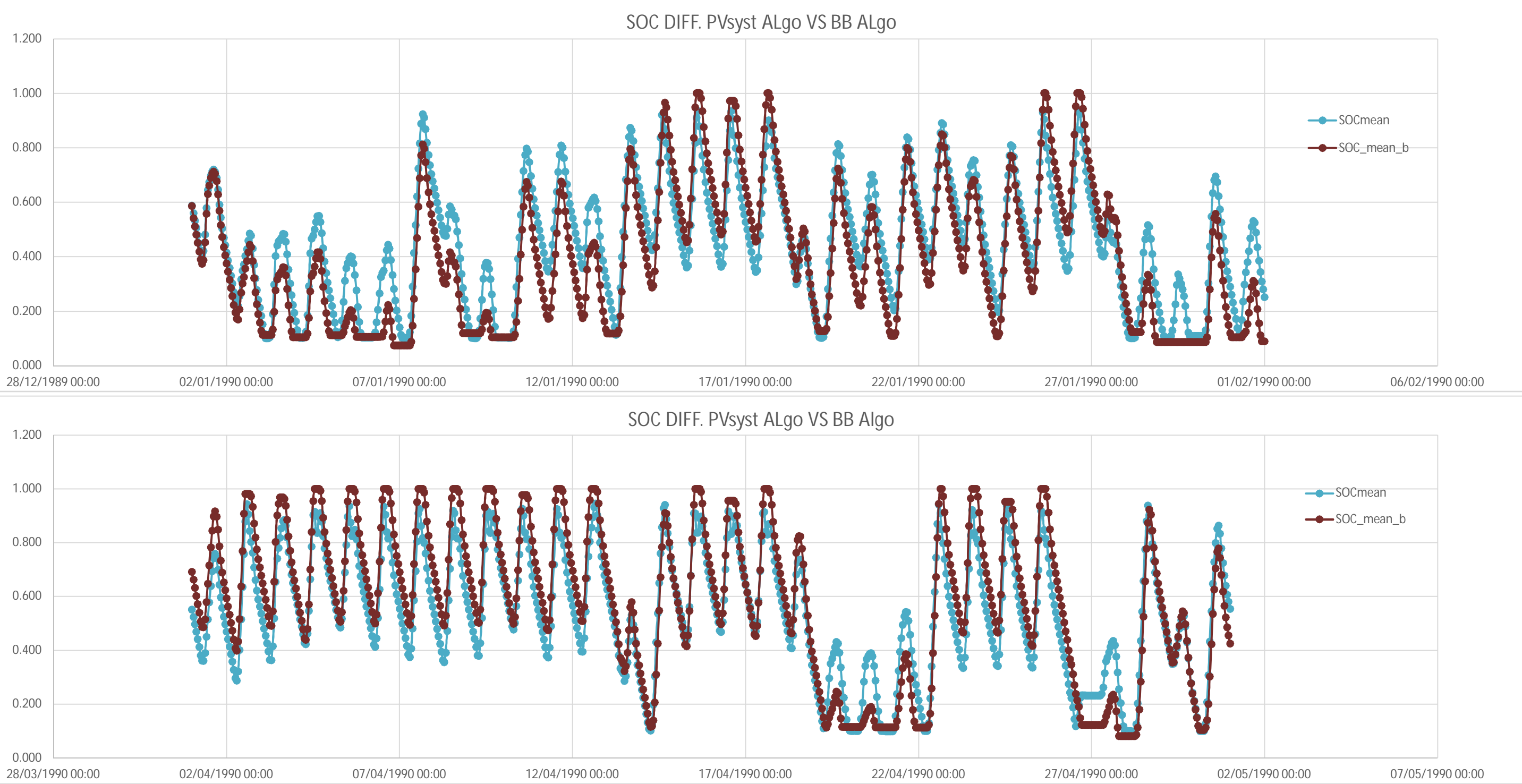


Figura 61: En rojo SOC\_mean algo BB y en azul SOC\_mean algo PVsyst para los meses de enero y abril.



Analizando el gráfico anterior, vemos que los días nublados, donde el SOC de la batería no sube al 30% durante el día, el SOC azul del algoritmo de PVsyst sigue la curva solar y el de nuestro algoritmo no. En muchas ocasiones el SOC rojo se queda al mínimo durante todo el día como se puede apreciar en la gráfica anterior. Este hecho es debido al que al algoritmo de PVsyst simulando al regulador DC/DC obliga a que la energía disponible  $E_{avail}$  cargue la batería (entre SOC 10% y 25-30%) antes de proporcionar energía al Usador, cuando el algoritmo que hemos creado prefiere proporcionar la energía producida al usador que almacenarla, por lo tanto, SOC\_mean se queda en el mínimo y Emiss, la energía faltante es un poco menor para nuestro algoritmo.

También vemos que el SOC máximo que hemos elegido es un poco superior al de PVsyst. Esto se ve reflejado en los días muy soleados seguidos, a lo mejor en el primer día muy soleado después de un día muy nublado no se ve, pero si en los siguientes días. Este último análisis explica que la Energía perdida sin usar sea ligeramente superior para el resultado de PVsyst comparado con el resultado de nuestro algoritmo. Ambos hechos hacen que se vierte un poco más de Energía al Usador con nuestro algoritmo que con el de PVsyst. En consecuencia, como se vierte más energía directamente al usador con nuestro algoritmo que con el de PVsyst, tenemos un poco más de energía generada efectiva, lo cual se refleja en la tabla 15.

Evidentemente, hemos introducido otras diferencias entre nuestra modelización y la de PVsyst, aunque hayamos intentado minimizarlas. Realmente, cada uno de los puntos del apartado 6.3 sobre modelización de las baterías, cada efecto despreciado (autodescarga...) ha introducido una variación con el modelo de PVsyst (muchas veces modelo "caja negra" que hemos intentado apreciar gracias a los resultados).

**Nota Importante:** Al revisar la ficha técnica de la batería Powerwall2, según Tesla, la profundidad de descarga "DOD" es de 100%. Seguramente que parece disruptivo para algún comercial, sin embargo, creemos que, si el dato es correcto, la capacidad de la batería es en realidad superior a la proporcionada en la ficha técnica (siempre hay un umbral de SOCmin y SOCmax), lo cual no es interpretado así por PVsyst, porque los datos de la batería en la base de datos del software es de 268 A.h (igual al dato de la ficha técnica) pero las cargas/descarga se realizan entre el rango de SOC: 0.10%-0.96%.

### 6.7 Gestión de la demanda

A parte de la diversificación de Fuentes de energía renovable para sustentar la demanda eléctrica, y como no hay misterio en la aplicación del principio de conservación de energía, si no hay sol y viento suficiente y que la batería se está descargando a un ritmo insostenible (en el sentido de que en algún momento no habrá energía almacenada para sustentar la demanda) lo único que podemos hacer es gestionar la

demanda osea disminuirla para que la batería aguante más tiempo, óptimamente hasta que haya generación suficiente para cargarla.

Para realizar adecuadamente la gestión energética, podemos realizar varios planes de gestión energética de naturaleza diferente:

1. Dividir en dos o más grupos las cargas eléctricas, como las cargas esenciales y las cargas no esenciales (que se pueden dejar de suministrar).
2. Dividir en dos o más grupos las cargas que pueden seguir funcionando a potencia reducida, o que se pueden programar para consumir menos. Por ejemplo, un televisor se puede poner en modo ahorro: bajando el brillo de la pantalla, reduciendo la frecuencia de actualización de las imágenes, poniendo un fondo negro, son maneras de reducir su consumo y se puede preprogramar. Por ejemplo, el display de la gráfica siguiente comparado con las sobre fondo blanco, reduce el consumo de la pantalla (pero tiene el efecto contrario sobre el consumo de tintas de impresoras si se tiene que imprimir).

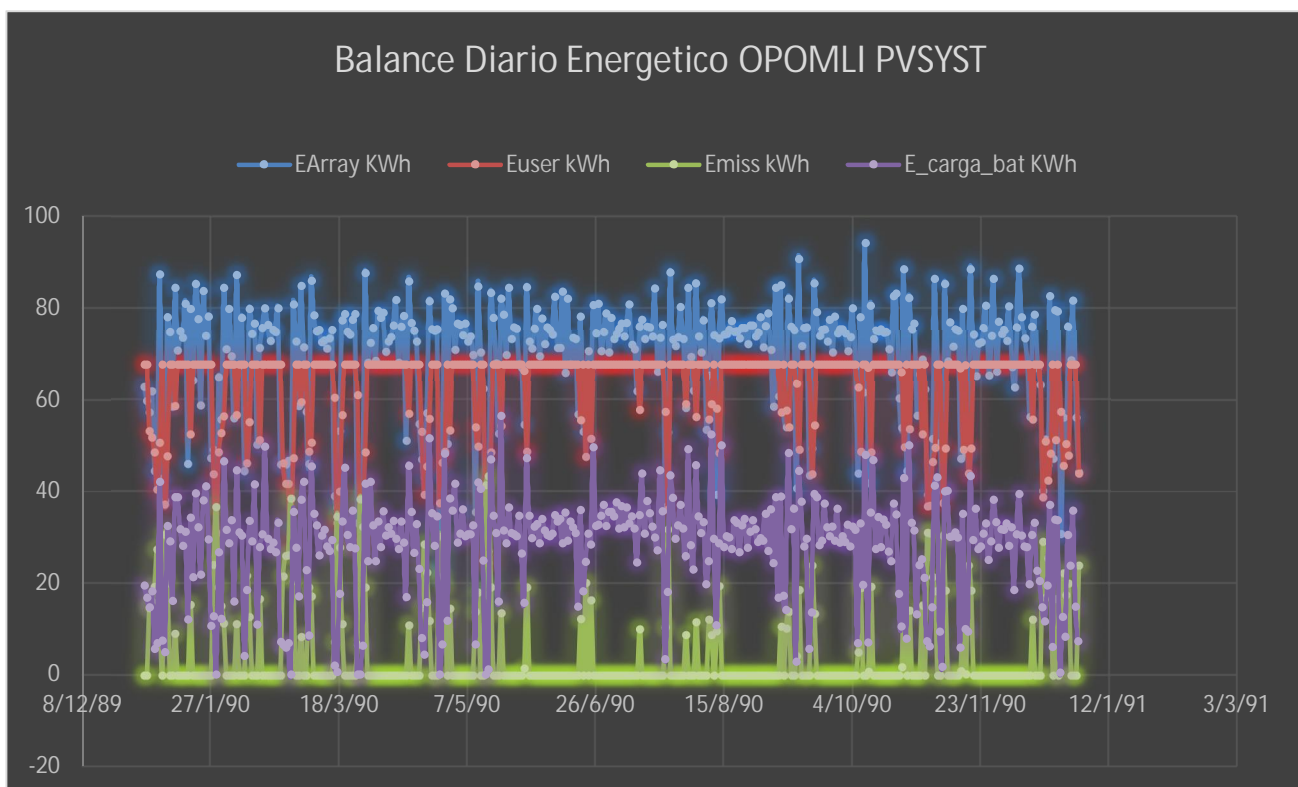


Figura 62: Ejemplo de Display de ahorro de energía de una pantalla. Reduciendo el brillo de los puntos también tendría efecto.

Dentro de las cargas previstas, algunas pueden funcionar en régimen variable, como la desalinizadora que produciría menos litros de agua desalinizada a régimen reducido.

- 
- 
3. Una combinación de 1 y 2 sería de lo más eficaz para cumplir con las reducciones de carga eléctrica.

En este apartado, no pretendemos detallar un plan de gestión de cargas, sino que explicar de qué manera se podría llevar a cabo. También presentamos el algoritmo sencillo que hemos seleccionado para estudiar los efectos de tal reducción prevista de cargas eléctricas frente a un valle de producción de energía renovable:

## OPOMLI DEMAND MANAGEMENT

Baptiste Boyet | October 1, 2019

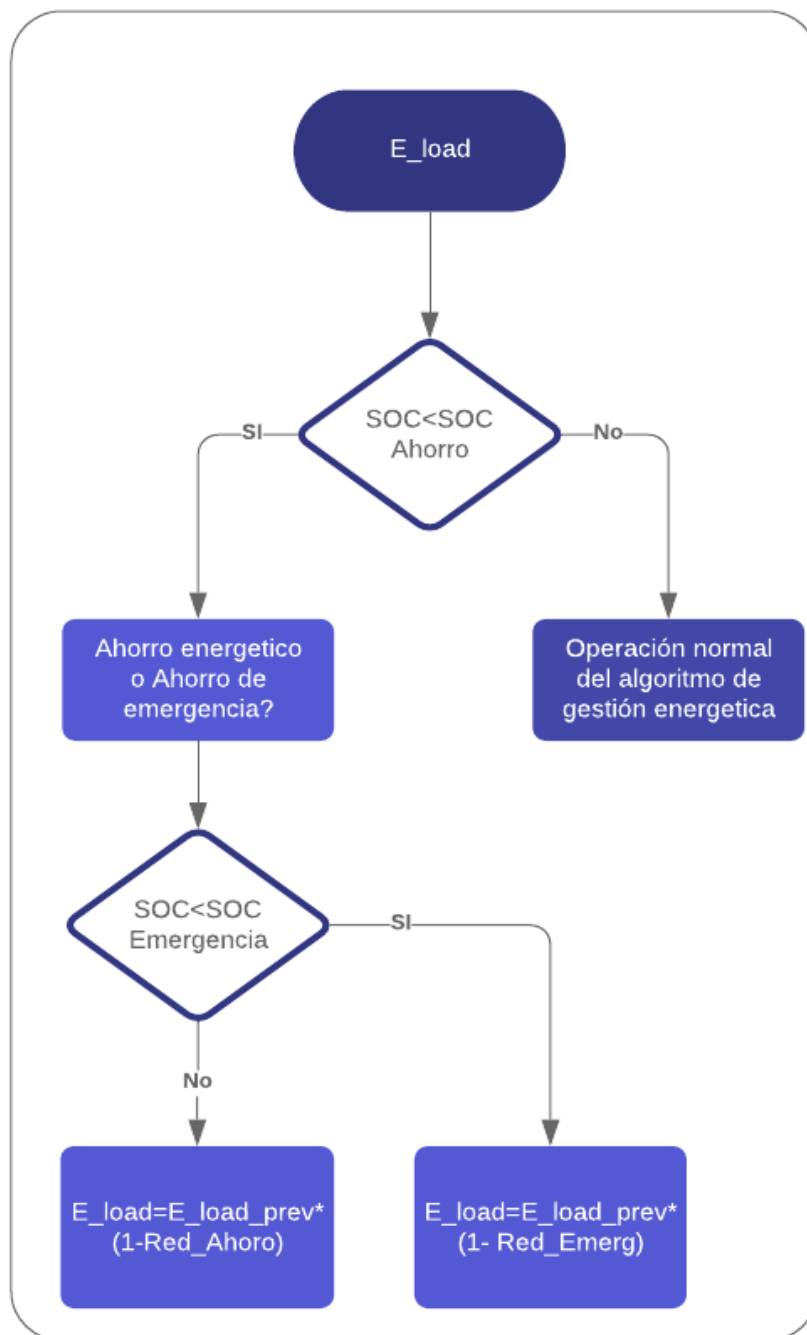


Figura 63: Algoritmo de gestión de la demanda energética.

Los parámetros del algoritmo anterior son:

*SOC ahorro* es el SOC a partir del cual (o el voltaje correspondiente) se empieza a reducir el consumo eléctrico  $E_{load}$  (por ejemplo, SOC ahorro = 0.4)

*SOC emergencia* el SOC a partir del cual se reduce de manera más aguda el consumo eléctrico  $E_{load}$  (por ejemplo, SOC emergencia=0.25)

*Red\_Ahoro* es coeficiente de reducción de  $E_{load}$  para el modo Ahorro (por ejemplo 20%)

*Red\_Emergencia* es el coeficiente de reducción de  $E_{load}$  para el modo Emergencia (por ejemplo 60%)

Evidentemente, en fases posteriores de un proyecto en red aislado, se deberá de definir en detalle el plan de reducción de consumos y verificar su factibilidad con respecto a los coeficientes de reducción de consumo.

Otro tema importante es la gestión del excedente de producción. Existen estudios científicos de modelización que consideran la posibilidad de gestionar el excedente a través de un electrolizador ("*Fuel cell*" en inglés) para almacenar el hidrogeno y luego utilizarlo en complemento del set de batería. En este informe no tenemos considerado una carga especial en particular que nos serviría de carga de volcado, sabiendo la cantidad de energía que representa, encontraremos como aprovecharla en fases posteriores. Quizás se aprovecha para unos sistemas de climatización o circulación de aire, o para rellenar botellas de buceo por medio de un compresor. De todos modos, lo importante es tener previsto algunas cargas de volcado para mantener el equilibrio en el sistema energético y que no se dispare la tensión en barra. Se debe tener en cuenta la posibilidad de realizar un algoritmo muy similar al presentado aumentando progresivamente el consumo de servicios de volcado a partir de un  $SOC > 0.85$ .

Gracias a nuestra herramienta, podríamos realizar un estudio de sensibilidad de los resultados variando los parámetros de regulación del algoritmo de gestión y carga/descarga, pero por la limitación de tiempo y el alcance previsto del trabajo, se realizará en un futuro trabajo En consecuencia todos los resultados con la mención DM (*demand management*) se obtuvieron en base a la siguiente parametrización del algoritmo:

- *SOC ahorro*=40%
- *SOC emergencia*=30%
- *Red\_Ahoro*=20%
- *Red\_Emergencia*=40%

## 6.8 Aportación de la fuente eólica de generación en el balance global energético

A continuación, en la tabla siguiente recompilamos los resultados anuales de la simulación de variante Vc0 (40° fijos) con 4 mini eólicas SILENT WIND 500W, comparando su resultado con el de nuestro algoritmo Solar:

	BB SOLAR EÓLICO ALGORITHM	BB SOLAR	Unidad	Variación	Variación %
E_User	23781	23335	kwh	446	1.9%
E_miss	972	1416	kwh	-444	-31.4%
E_Sin Usar	4318	3207	kwh	1110	34.6%
E_load	24709	24709	kwh	0	0.0%
E_gen_Avail	29094	27483	kwh	1611	5.9%

Tabla 17: Resultados anuales del algoritmo de gestión energética con generación solar y eólica vs solar (VC0)

A pesar del análisis previo que realizamos en el apartado sobre la modelización eólica, y en concreto con la figura 48, donde se ve que la generación eólica no parece muy complementaria diaria con la energía solar fotovoltaica como a veces ocurre, vemos que las 4 eólicas han producido 1611 kwh durante el año, lo cual solo representa un 5.9% de la generación total, y sin embargo esto permite reducir un 31.4% la energía faltante al utilizador, incrementando un 446 kwh la energía proporcionada a las cargas eléctricas. Para ver realmente las ventajas de la fuente eólica, podríamos realizar otra simulación con 2 kwp más de paneles fotovoltaicos y comparar los resultados. Sin embargo, debido a las limitaciones de tiempo y de alcance del trabajo, no es estrictamente necesario hacerlo y tenemos que decir en favor de las mini eólicas que tienen mucha menos superficie de ocupación al suelo, que seguramente los datos de fuente mesoescala son infravalorados y que podríamos llegar a una generación mayor elevando la altura de buje de las eólicas, pero calculando las sombras de las palas y de la torre para que nunca se puedan producir sombras de las palas sobre los paneles fotovoltaico.



## 6.9 Aportación de la gestión de cargas en el balance global energético

A continuación, en la tabla siguiente recopilamos los resultados anuales de la simulación de variante Vc0 (40° fijos) con 4 mini eólicas SILENT WIND 500W, comparando su resultado con el de nuestro algoritmo Solar:

	BB SOLAR EÓLICO DM ALGORITHM	BB SOLAR	Unidad	Variación	Variación %
E_User	23500	23335	kwh	165	0.7%
E_miss	100	1416	kwh	-1316	-93.0%
E_Sin Usar	4565	3207	kwh	1357	42.3%
E_load	23554	24709	kwh	-1155	-4.7%
E_gen_Avail	29094	27483	kwh	1611	5.9%

Tabla 18: Resultados anuales del algoritmo de gestión energética con generación eólica y gestión de carga vs solar VC0.

Comparando los resultados de la simulación, vemos que la producción utilizable por las cargas previstas (E\_user) ha bajado un poco respecto al escenario Eólico, sin embargo, la energía faltante ha bajado a 100kwh, lo cual representa un 93% de reducción de la energía faltante comparado con el escenario solar de nuestro algoritmo de gestión de energética. También el algoritmo de gestión de la demanda permite reducir el estrés de la batería debido a descargas profundas como lo hemos señalado en la figura 56. A la luz de los resultados, podemos decir que la combinación de la generación solar con paneles fijos VC0 o VC1 con 4 mini eólica SILENT WIND y un algoritmo de gestión adecuado nos parece la mejor opción para garantizar una buena operabilidad de la plataforma. En una fase posterior, se deberá de comprobar la correcta gestión energética dinámica en base a datos medidos en sitio, y una modelización avanzada de los reguladores MPPT, Buck boost etc. A continuación, presentamos los gráficos resultados anuales, mensuales y algunos meses de gráficos horarios de la gestión energética simulada según los escenarios presentados:

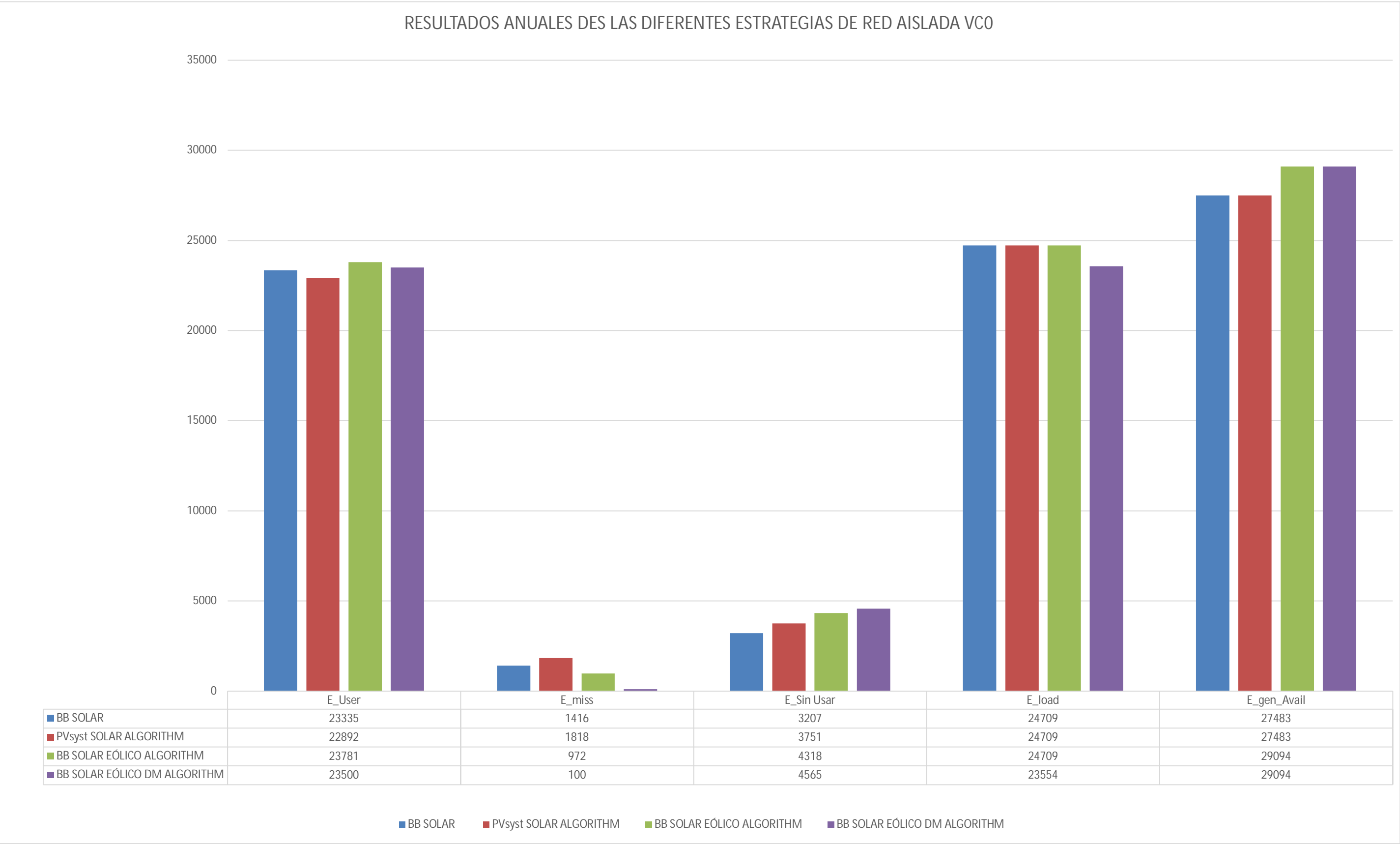


Figura 64: Resultado Anual de los distintos planteamientos de gestión y diseño de red aislada en base a VCO.



Figura 65: Resultado Anual de los distintos planteamientos de gestión y diseño de red aislada en base a VC1.

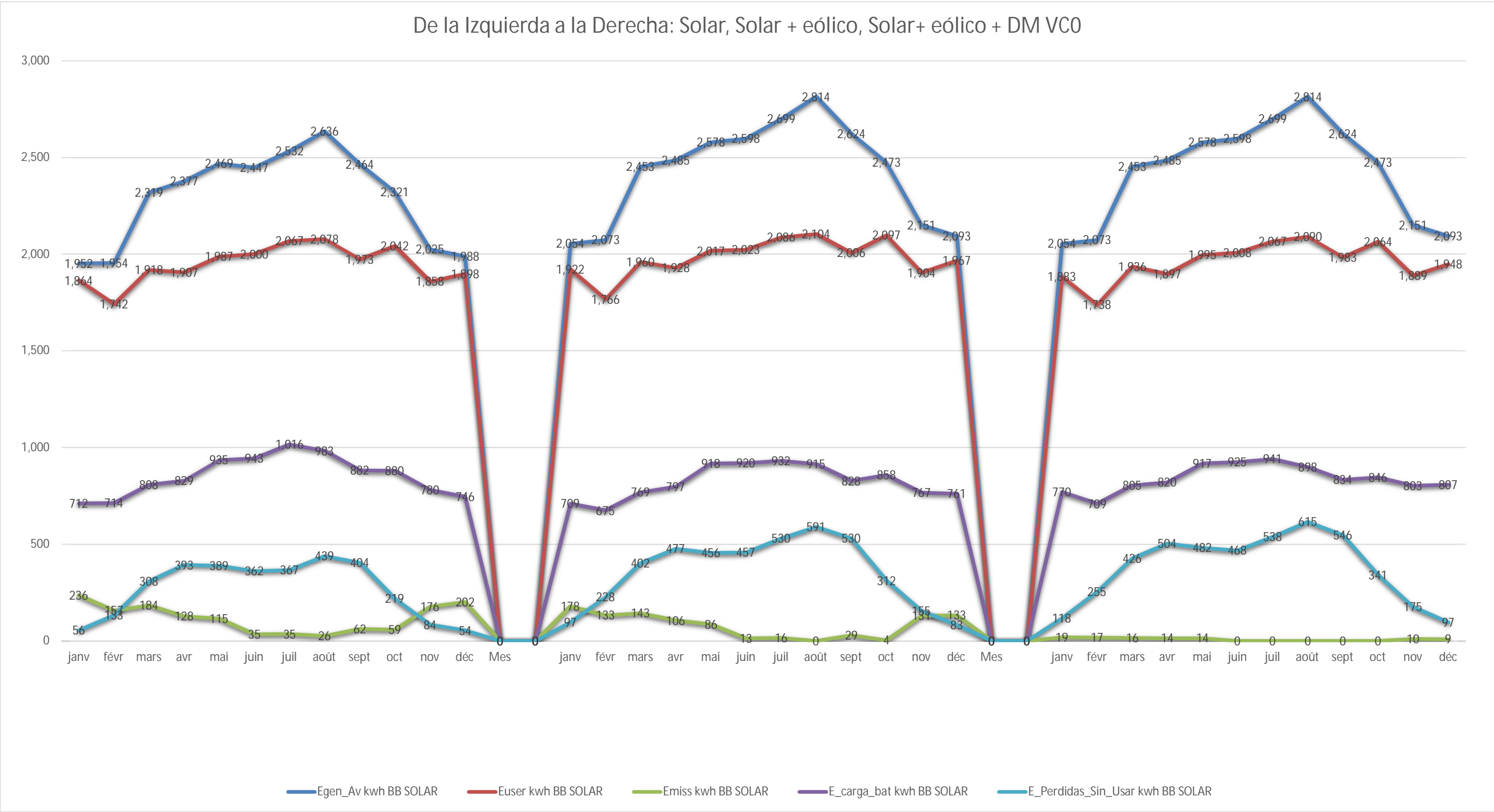


Figura 66: Resultados Mensuales de los distintos planteamientos de gestión y diseño de red aislada en base a VCO.

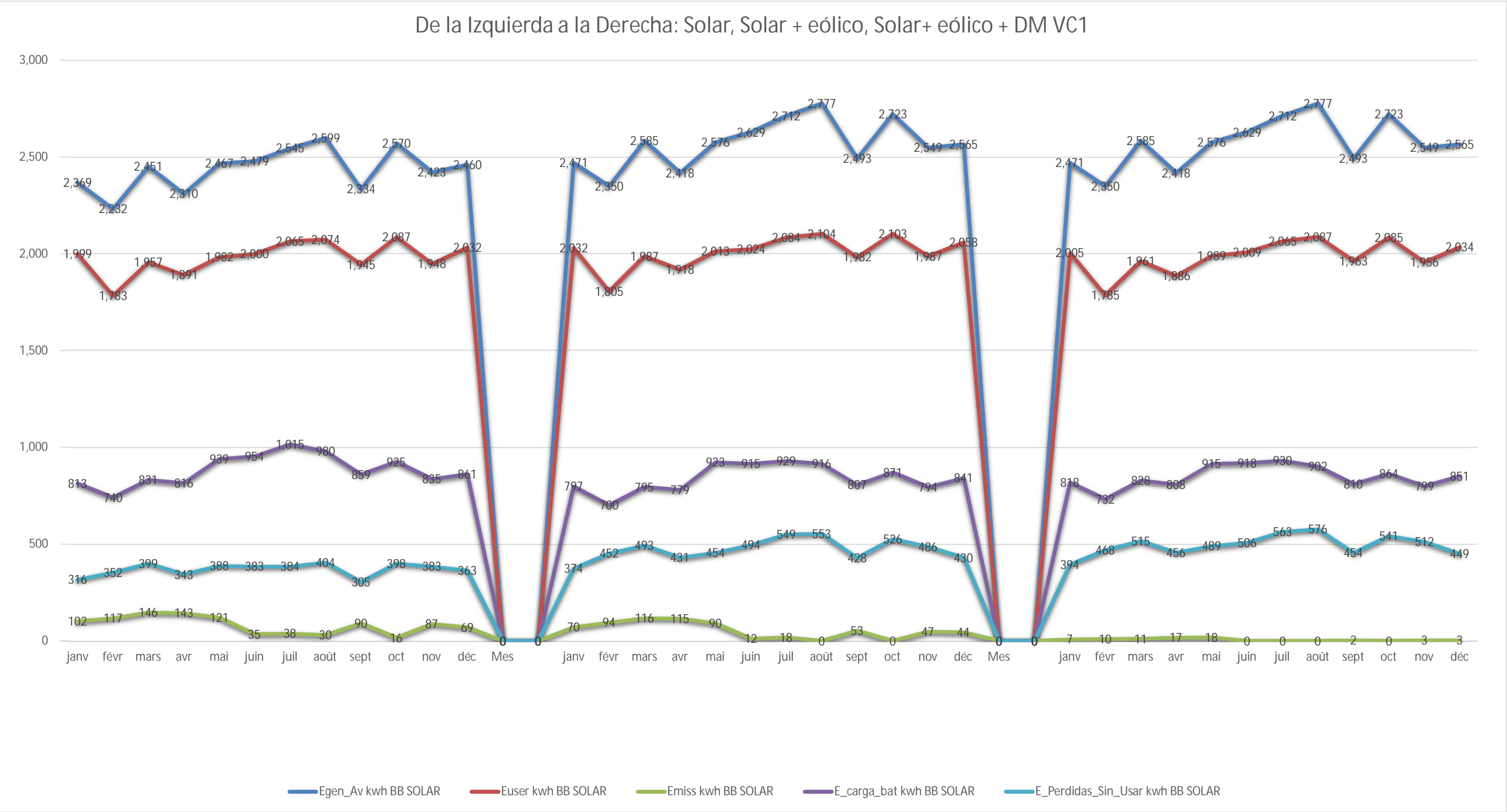


Figura 67: Resultados mensuales de los distintos planteamientos de gestión y diseño de red aislada en base a VC1.

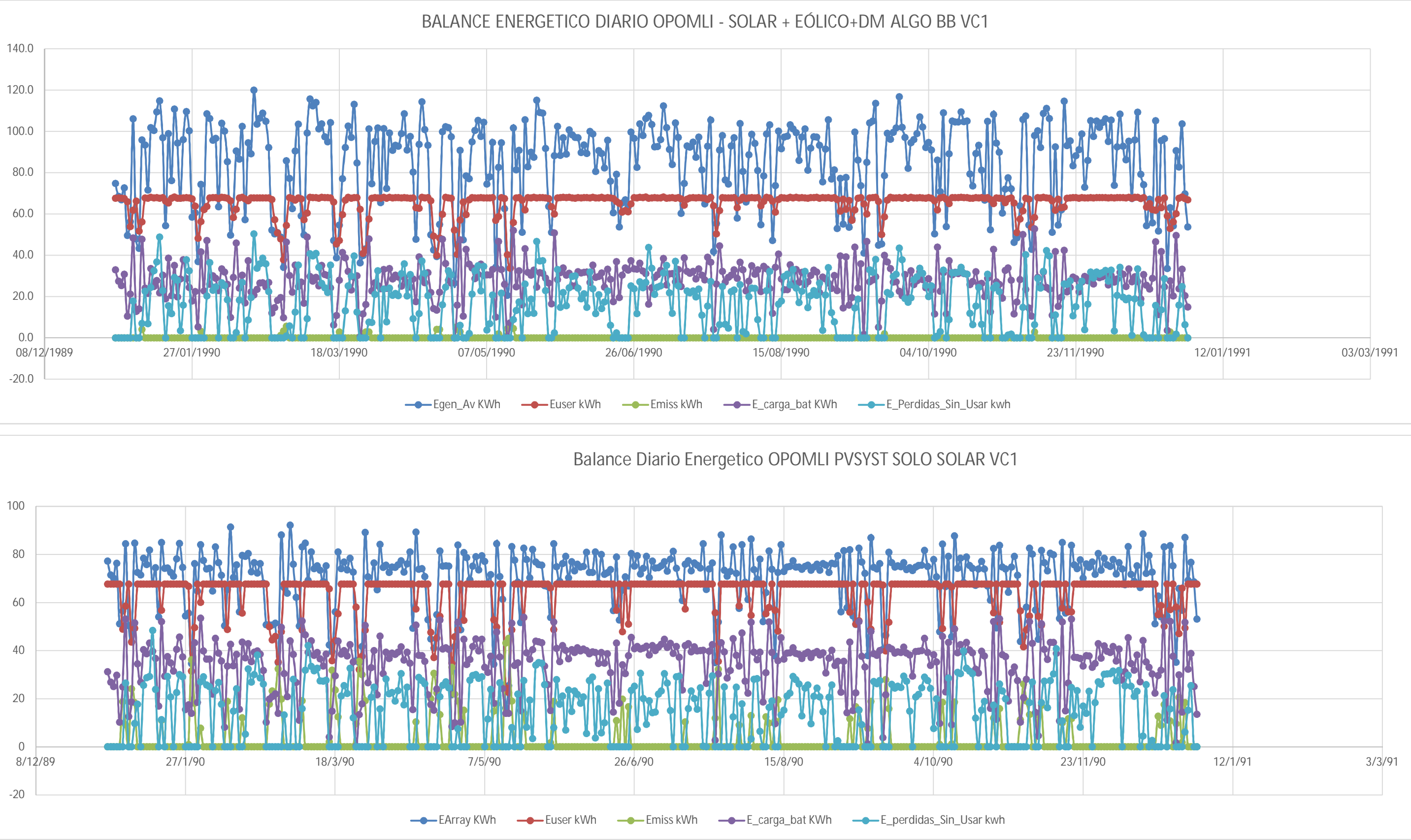


Figura 68: Resultado diarios de 2 planteamientos de gestión y diseño de red aislada en base a VC1. No se presenta VC0 porque la gráfica es difícilmente visible y sería redundante.



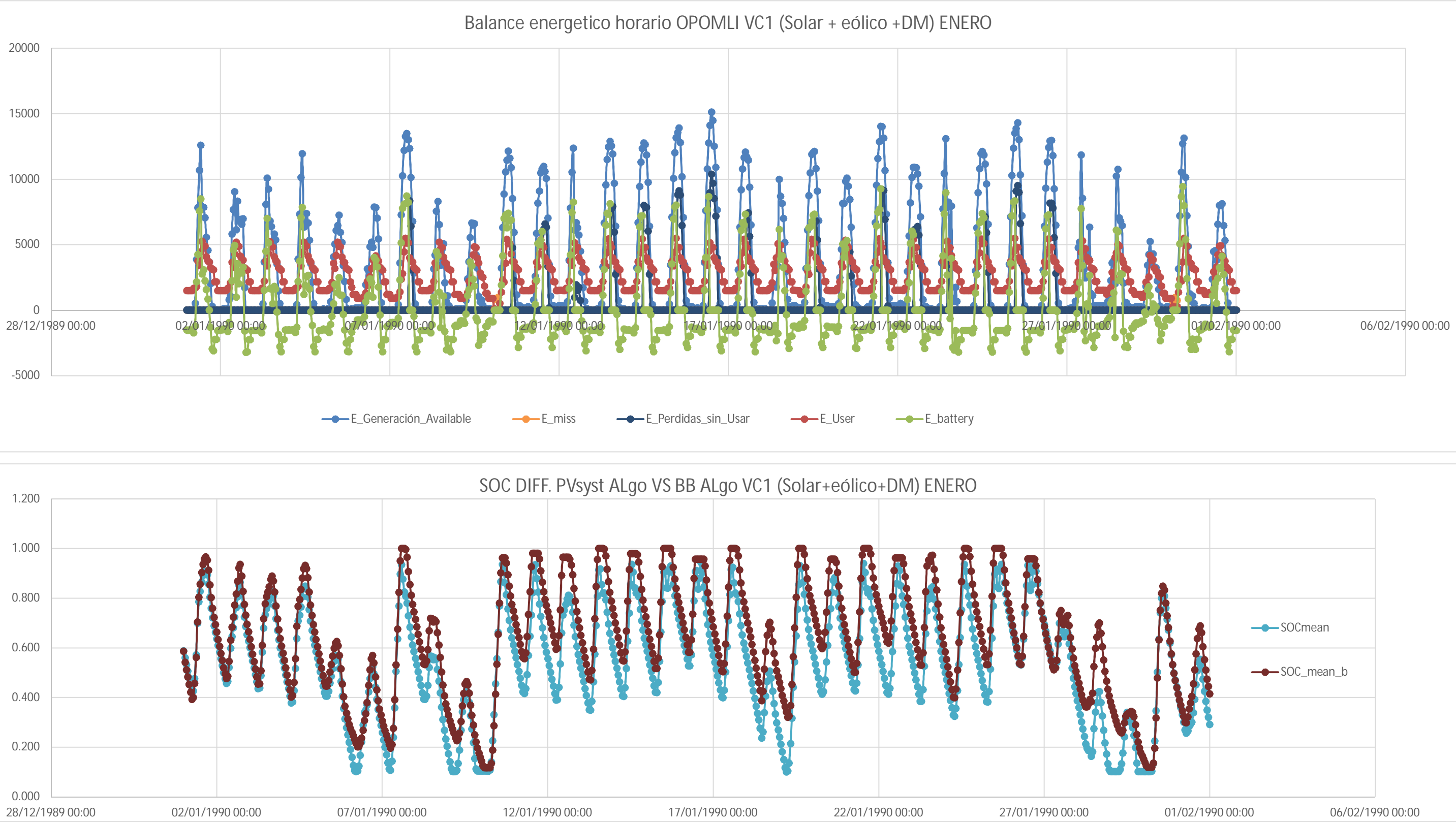


Figura 69: Resultados horarios del planteamiento SOLAR+EÓLICO+DM para VC1 y SOC escenario SOLAR+ EÓLICO+DM VS SOC Solar para VC1. MES DE ENERO



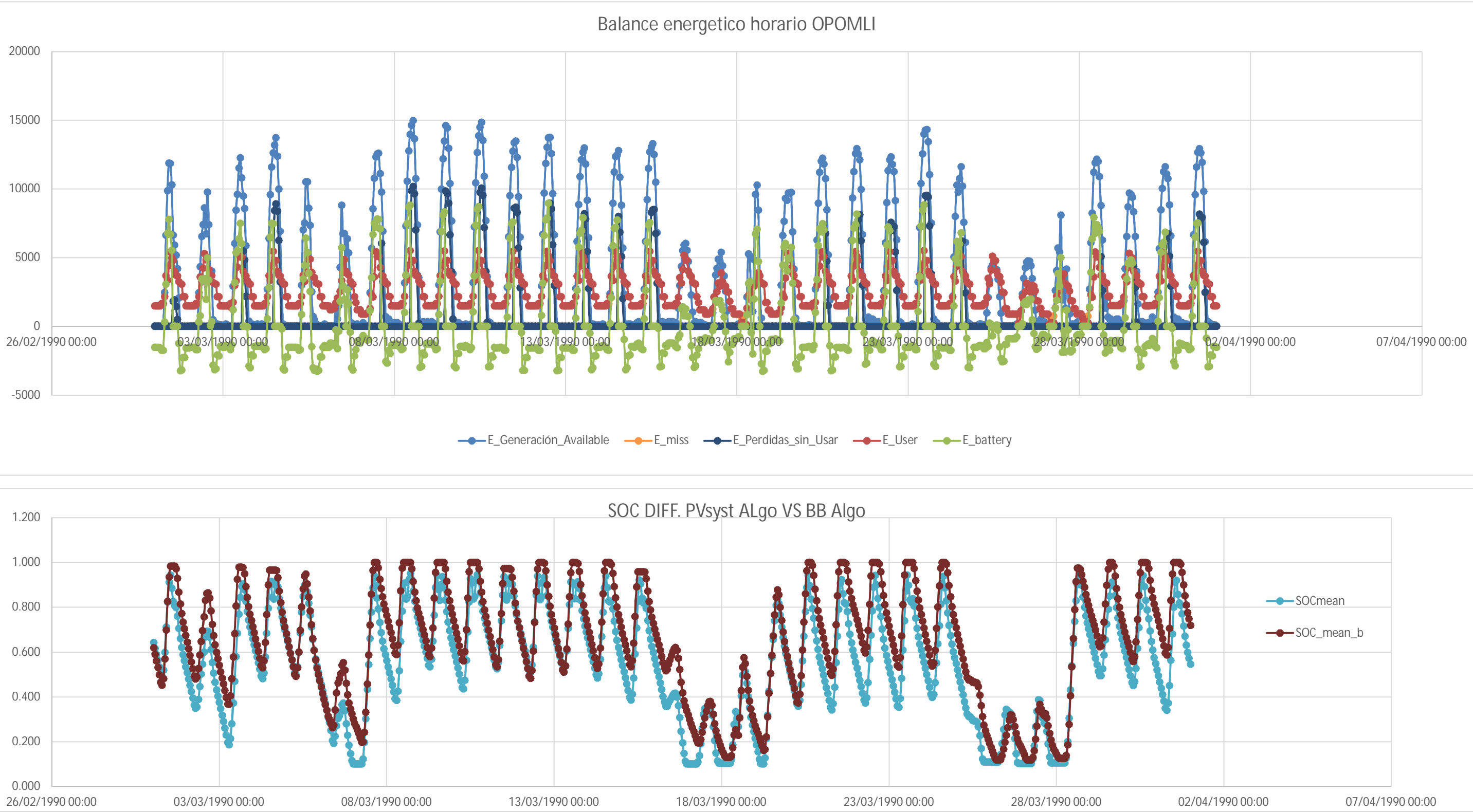


Figura 70: Resultados horarios del planteamiento SOLAR+EÓLICO+DM para VC0 y SOC escenario SOLAR+ EÓLICO+DM VS SOC Solar para VC0. MES DE ENERO

## Capítulo 7. Conclusiones y trabajo futuro

Este trabajo investiga la factibilidad energética de una plataforma de investigación marina en los arrecifes de coral. La degradación de los arrecifes de coral está documentada por todo el mundo gracias al gran trabajo realizado por innumerables científicos desde los años 1930, y verlo recientemente con mis propios ojos en los arrecifes de Reunión me ha motivado a emprender este proyecto.

El cambio climático y las emisiones de dióxido de carbono, entre otros gases invernadero, proveniente del conjunto de las actividades humanas (generación eléctrica, transporte, agricultura, construcción, industria...) ha sido incriminado en los recientes episodios globales de *bleaching*, por ello decidimos diseñar una plataforma sostenible energéticamente, es decir que incluyera su propia generación eléctrica a base de una red de generación renovable, autónoma y aislada.

Sin embargo, tenemos claro que, aunque la micro-red aislada diseñada no emite gases de efecto invernadero en la ubicación del proyecto, sí que induce unas emisiones durante las primeras fases de su ciclo de vida (minería, fabricación y transporte hasta el emplazamiento final), así como en las últimas fases ("decommissioning" y reciclaje en el mejor caso).

En el diseño de la plataforma hemos tenido en cuenta las funciones que debería de proveer y hemos realizado un prediseño arquitectónico 3D que nos sirva para plantear los equipos eléctricos de la propia plataforma. Luego hemos realizado una estimación exhaustiva de dichos equipos planteando un perfil conservador del consumo eléctrico a abastecer.

En relación con la filosofía del diseño de red aislada, hemos incluido los que en nuestra opinión son los elementos claves de este diseño para llegar a una solución técnico-económica óptima:

- Una instalación fotovoltaica de 17.22 kwp que será la fuente principal de electricidad.
- Un perfil de consumo centrado en la curva de producción solar, y un algoritmo de gestión del consumo cuyo objetivo es limitar la fracción de tiempo donde el utilizador no esté suministrado en electricidad, así como aliviar las baterías en término de frecuencia y amplitud de ciclos de descarga profundos.
- Una serie de baterías
- Una serie de generadores eólicos para respaldar la generación fotovoltaica
- Una gestión integrada de los flujos energéticos

Nuestra primera intención era realizar un estudio dinámico mediante el software de modelización y simulaciones OPENMODELICA, que representa una alternativa “open source” a MatLab, realizada por un consorcio de investigadores científicos y programadores de muy alto nivel técnico. Sin embargo, tras varias semanas realizando tutoriales del software e investigar la librerías disponibles gratuitamente (ver el trabajo muy bueno del Dr. Christian Kral [32] [33] et Al.), no hemos conseguido convertir serie de datos como inputs en formato csv (tipo archivo TMY) en una tabla de datos en Modelica, y al nivel de programación no hemos podido solucionarlo.

Por lo tanto, hemos cambiado de estrategia realizando una herramienta Excel funcionando con los algoritmos presentados que nos permite incluir una modelización casi estática del funcionamiento de las baterías, de la generación eólica y de los flujos energéticos incluyendo pérdidas de los convertidores. Esta herramienta, combinada con la extensa modelización fotovoltaica PVSyst nos permite evaluar la factibilidad de la instalación con satisfacción, abasteciendo aproximadamente 67 kwh de energía diaria a la plataforma. La superficie de ocupación de la instalación fotovoltaica de unos 92.8m<sup>2</sup>, un poco más con la mini-eólica, lo cual es inferior a la superficie de la plataforma. La energía faltante para abastecer los consumos previstos planteados a 70 kwh anualmente, o un poco más de un día de demanda equivalente, mientras que el dimensionamiento realizado estrictamente con Pvsyst anticipaba un poco más de 1400 kwh de energía faltante. La investigación realizada para el trabajo ha sido muy buena para entender los retos que acompañan los proyectos de red aislada de fuente renovable e intermitente, así como para identificar las áreas de futuro trabajo para seguir desarrollando el diseño técnico de la plataforma OPOMLI:

- Diseño estructural robusto frente a tormentas y posibles huracanes y respetuoso del medio ambiente.
- Elaboración del diseño de detalle eléctrico incluyendo dimensionamiento de cables eléctricos, cuadros de protecciones, puesta a tierra, y seleccionando uno o varios convertidores eléctricos programables para garantizar la estabilidad y calidad de la energía eléctrica.
- Una modelización dinámica de la estabilidad eléctrica de la red aislada.
- Elaboración del diseño avanzado de la red inalámbrica de sensores.
- Realización de prototipos y validación de diseños

Podríamos seguir con la lista, sin embargo, queremos resaltar el hecho de que vivimos en un mundo sumamente complejo, cuyas limitaciones físicas inherentes [34] están en contradicción con los principios del capitalismo y del libre comercio, lo cual genera todavía más complejidad e incertidumbre hacia el futuro. También, para seguir con este trabajo, me parece indispensable crear un canal de comunicación entre diseñadores e investigadores con el fin de mejorar el diseño adecuándolo a las necesidades de la gente de la zona, y también una campaña de comunicación y marketing hacia el público con el fin de financiar un equipo pluridisciplinar y los prototipos.

## Bibliografía y referencias

- [1] Heron et Al, «Impacts of climate change on World Heritage Coral Reefs: A first global scientific assesment.,» UNESCO WORLD HERITAGE CENTER, Paris, 2017.
- [2] O'Mahony et Al., «At What Price? The economics, social and icon value of the great Barrier reef,» Deloitte access Economics, Australia, 2017.
- [3] Hoegh-Guldberg I. et al., «Reviving the ocean economy: the case for action.,» WWF International, Switzerland, 2015.
- [4] Glynn PW, D'Croz L., Coral reefs, Springer, 1990, pp. 181-191.
- [5] U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), «National Ocean Service,» [En línea]. Available: [https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial\\_corals/coral01\\_intro.html](https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_corals/coral01_intro.html). [Último acceso: 2019].
- [6] . R. Santos Serrão, «Cold-Water or Deep sea corals,» Institut océanographique, fondation Albert 1er, Prince de Monaco, Monaco, 2012.
- [7] J. Jaubert, «Les récifs coralliens,» Institut océanographique, fondation Albert 1er, Prince de Monaco, Monaco, 2013.
- [8] R.S.K Barnes, R.N. Hugues, An Introduction to Marine Ecology, Oxford, UK: Blackwell Science Ltd. 1999., 1999.
- [9] Laretta Burke et Al., «Reefs at risk revisited,» World Resource Institute, 2011.
- [10] G. Portillo, «Meteorología en Red,» [En línea]. Available: <https://www.meteorologiaenred.com/los-guyots.html>.
- [11] B. B. E. , «Coral Bleaching: causes and consequences.,» International society of Coral reef studies, 1996.
- [12] Weil, E., I. Urreiztieta, and J. Garzón-Ferreira, «Geographic variability in the incidence of coral and octocoral diseases in the wider Caribbean,» Bali, 2000.

- [13] C. S. Rogers , J. Miller., «Coral bleaching, hurricane damage, and benthic cover on coral reefs in St. John, U.S. Virgin Islands: A comparison of surveys with the chain transect method and videography,» 2001.
- [14] A. M. Szmant, «Nutrient Enrichment on Coral reefs: Is it a major cause of Coral reef decline?,» vol. 25, nº 4b, 2002.
- [15] O. Hoegh-Guldberg, «Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs,» 1999.
- [16] James A. Goodman et Al., Coral reef remote sensing, a guide for Mapping, monitoring and management, Springer, 2013.
- [17] Detlef P van Vuuren et Al, «The representative concentration pathways: an overview,» *Climate Change*, 2011.
- [18] M. Á. Criado, «La sexta gran extinción está en marcha,» *El País*, 19 Junio 2015.
- [19] Albaladejo C. et al, «Wireless sensor networks for oceanographic monitoring: a systematic review,» 2010.
- [20] Delauney L. , Compère C., Lehaître M., «Biofouling protection for marine environmental sensors.,» 2010.
- [21] Albaladejo C. et al., «Low-cost sensor buoy system for monitoring shallow marine environments,» 2012.
- [22] Chris Kniht et al, «Energy options for wireless sensor nodes,» 2008.
- [23] Jarrod Trevathan et al. , «Developing low cost intelligent wireless sensor networks for aquatic environments,» 2011.
- [24] Jarrod Trevathan and Rone Johnstone, «Smart Environmental Monitoring and Assessment Technologies (SEMAT)- A new paradigm for low cost, remote aquatic environmental monitoring,» 2018.
- [25] Kirubasankar D et al, «Robotic car controlled using WIMAX,» 2017.
- [26] Eurostat, Gobierno de España ,IDAE, REE, «Consumos del sector residencial en España,» Eurostat, Gobierno de España ,IDAE.
- [27] R. A. Jackey, «A simple effective lead acid battery modeling process for electrical system component selection (Lead-acid).,» MATLAB, 2007.
- [28] Martin Coleman et Al. , «An improved battery characterization method using a two-pulse load test,» vol. 23, nº 2, 2008.

- [29] Min Chen, A. Rincon-MORA et AL., «An accurate Electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance..» IEEE Georgia Tech Analog and Power IC Design Lab, 2005.
- [30] Denis Doerffel, Suleiman Abu Sharkh, «A critical review of using the Peukert equation for determining the remaining capacity of lead acid and lithium-ion batteries.,» 2005.
- [31] Göran Andersson et AL., «Modeling of lithium ion battery degradation for cell life assesmen,» 2016.
- [32] Christian Kral et AL., «Open Source Library for the simulation of wind power,» de *11th International Modelica Conference*, Versailles, 2015.
- [33] Christian Kral et AL., «Open Source Photovoltaics Library for Systemic Investigations,» de *13th International Modelica conference*, Regensburg, 2019.
- [34] Donella H. and Dennis Meadows et AL., «Limits to growth,» MIT - The Club of Rome, 1972.
- [35] Jeremy B. C. Jackson, Michael X. Kirby, Wolfgang H. Berger, Karen A. Bjorndal, Louis W. Botsford, Bruce J. Bourque, Roger H. Bradbury, Richard Cooke, Jon Erlandson, James A., «Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems,» vol. 293, nº 5530.
- [36] C. S. Rogers, «Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation,» 1990.

## Anexo I.1. Resultados PVsyst VC0



# Sistema aislado: Parámetros de la simulación

Proyecto : **OPOMLI - Passe Hermitage**

<b>Sitio geográfico</b>	<b>Passe de l'Hermitage</b>		<b>País</b>	<b>India</b>
<b>Ubicación</b>	Latitud	-21.09° S	Longitud	55.22° E
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT+4	Altitud	0 m
	Albedo	0.10		
<b>Datos meteorológicos:</b>	<b>Passe de l'Hermitage</b>	Solar Gis (1994 - 2011) - Sintético		

Variante de simulación : **OPOMLI RÉUNION ELEVACIÓN FIJA 40°**

Fecha de simulación 06/10/19 19h13

<b>Parámetros de la simulación</b>	Tipo de sistema	<b>Sistema aislado con baterías</b>		
<b>Orientación plano captador</b>	Inclinación	40°	Acimut	0°
<b>Modelos empleados</b>	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
<b>Horizonte</b>	Elevación Media	1.0°		
<b>Necesidades del usuario :</b>	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Template_OPOMLI_V3.csv		

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	
2099	1896	2099	2031	2099	2031	2099	2099	2031	2099	2031	2099	24709	kWh

Características del conjunto FV				
Módulo FV	Si-poly	Modelo	CS3W-410P HE	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Canadian Solar Inc.	
Número de módulos FV		En serie	3 módulos	En paralelo 14 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	42	Pnom unitaria 410 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	17.22 kWp	En cond. de funciona. 15.63 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	106 V	I mpp 147 A
Superficie total		Superficie módulos	92.8 m²	Superficie célula 83.3 m²

<b>Parámetros del sistema</b>	Tipo de sistema	Sistema aislado		
<b>Batería</b>	Modelo	Powerwall2		
	Fabricante	Tesla		
<b>Características del paquete de baterías</b>	Núm. de unidades	2 en serie x 2 en paralelo		
	Voltaje	101 V	Capacidad nominal	536 Ah
	Descarga: mín. SOC	10.0 %	Energía almacenada	49.0 kWh
	Temperatura	Fijada (25°C)		
<b>Regulador</b>	Modelo	Universal controller with MPPT converter		
	Tecnología	MPPT converter	Coef. temp.	-5.0 mV/°C/elem.
<b>Convertidor</b>	Eficiencias Máx. y EURO	97.0 / 95.0 %		
<b>Umbral de Regulación Baterías</b>	Umbral de mando según	SOC calculation		
	Carga	SOC = 0.96 / 0.80		
	Descarga	SOC = 0.10 / 0.35		

Factores de pérdida del conjunto FV				
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s
Pérdida óhmica en el Cableado	Res. global conjunto	20 mOhm	Fracción de pérdidas	2.5 % en STC
Pérdida Diodos en Serie	Caída de voltaje	0.7 V	Fracción de pérdidas	0.6 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	1.0 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción de pérdidas	0.10 %

## Sistema aislado: Parámetros de la simulación

Efecto de incidencia, perfil definido por el usuario (IAM): Perfil personalizado

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1.000	1.000	1.000	0.990	0.990	0.970	0.920	0.760	0.000

## Sistema aislado: Definición del horizonte

**Proyecto :** OPOMLI - Passe Hermitage

**Variante de simulación :** OPOMLI RÉUNION ELEVACIÓN FIJA 40°

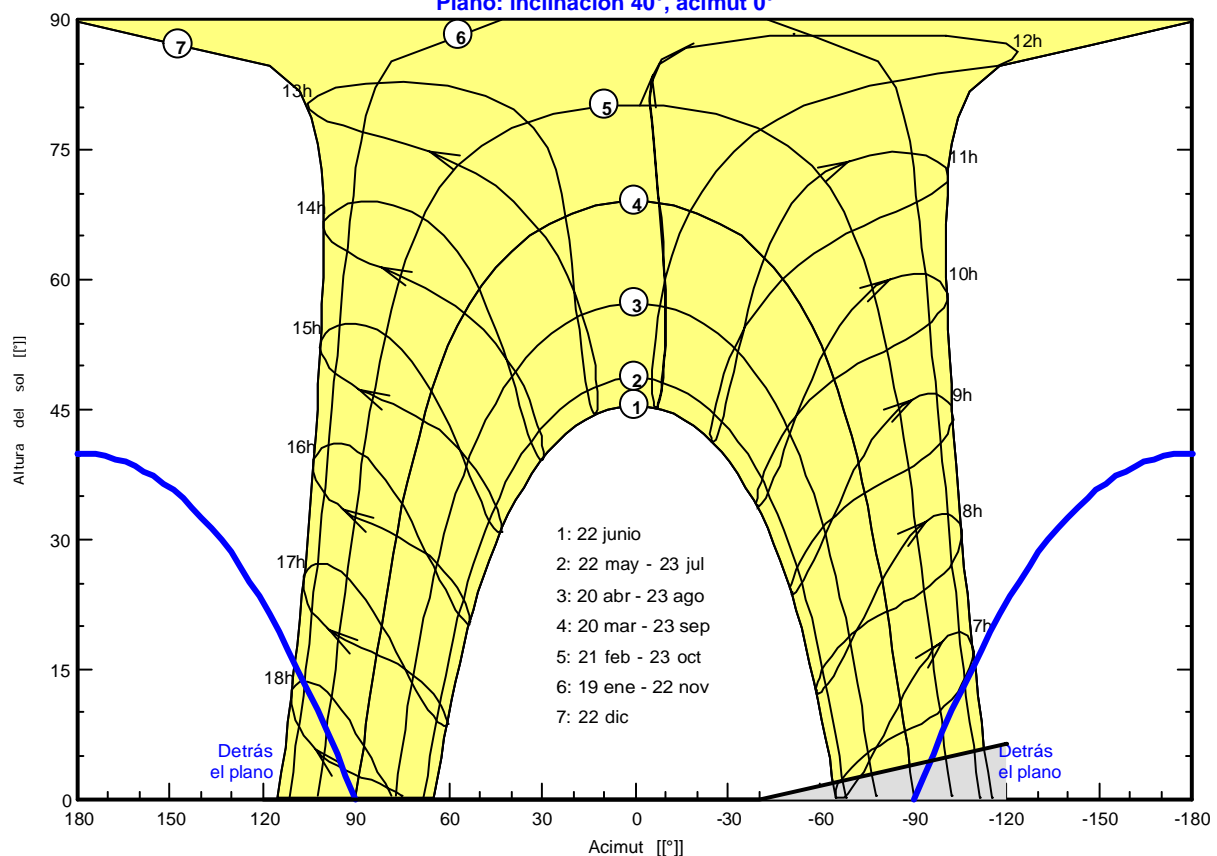
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías		
<b>Horizonte</b>	Elevación Media	1.0°		
Orientación Campos FV	inclinación	40°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom	410 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total	<b>17.22 kWp</b>
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología	Lithium-ion, NCA
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	<b>101 V / 536 Ah</b>
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global	24.71 MWh/año

<b>Horizonte</b>	Elevación Media	1.0°	Factor Difuso	1.00
	Factor Albedo	100 %	Fracción Albedo	0.99

Altura [°]	6.3	0.0	0.0	0.0
Acimut [°]	-120	-40	40	120

### Ligne d'horizon à Passe de l'Hermitage

Plano: inclinación 40°, acimut 0°



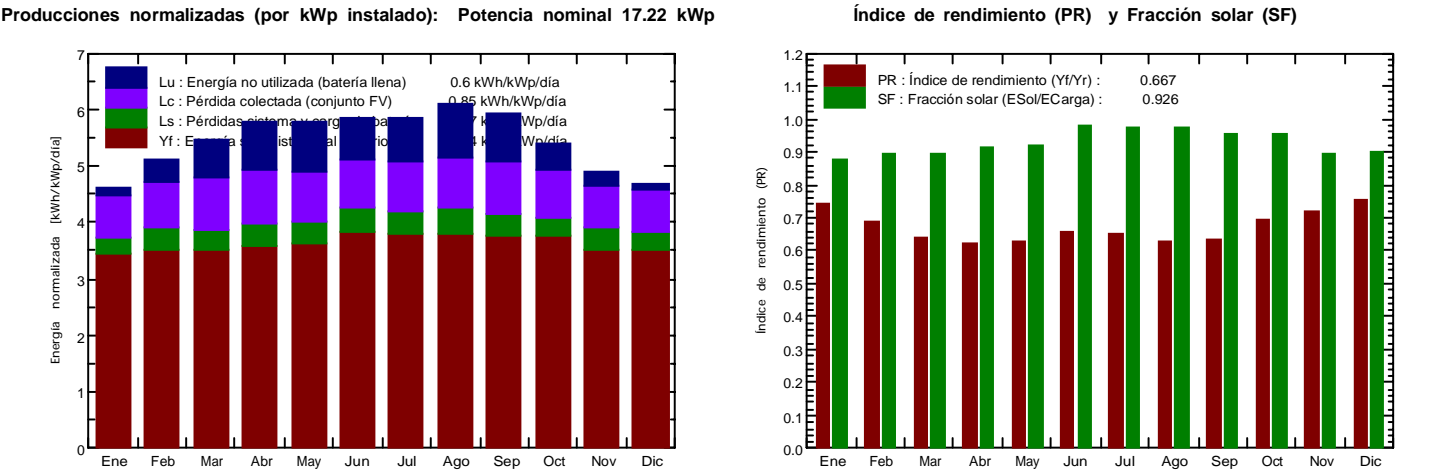
Sistema aislado: Resultados principales

Proyecto : OPOMLI - Passe Hermitage

Variante de simulación : OPOMLI RÉUNION ELEVACIÓN FIJA 40°

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías			
Horizonte	Elevación Media	1.0°			
Orientación Campos FV	inclinación	40°	acimut	0°	
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom	410 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total	17.22 kWp	
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología	Lithium-ion, NCA	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	101 V / 536 Ah	
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global	24.71 MWh/año	

Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	Energía disponible	27483 kWh/año	Produc. específica	1596 kWh/kWp/año
	Energía utilizada	22891 kWh/año	Energía excedente (inutilizado)	3751 kWh/año
	Índice de rendimiento (PR)	66.71 %	Fracción solar (SF)	92.64 %
Pérdida de carga	Fracción de tiempo	8.6 %	Energía faltante	1818 kWh/año
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste EDD)	EDD	73.3%	EDD estático	80.0%
Duración de vida de la batería		3.7 años		



OPOMLI RÉUNION ELEVACIÓN FIJA 40°

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUunused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac
Enero	189.5	138.6	1952	75.3	264.2	1834	2099	0.874
Febrero	168.2	139.5	1954	186.0	205.7	1690	1896	0.891
Marzo	171.8	166.3	2319	372.6	221.7	1877	2099	0.894
Abril	149.6	170.8	2377	443.0	173.2	1858	2031	0.915
Mayo	134.3	176.7	2469	459.8	169.6	1929	2099	0.919
Junio	121.5	173.2	2447	384.8	48.6	1982	2031	0.976
Julio	131.3	179.6	2532	421.6	60.8	2038	2099	0.971
Agosto	151.4	186.0	2636	504.7	61.4	2037	2099	0.971
Septiembre	170.7	174.6	2464	447.5	94.5	1936	2031	0.953
Octubre	186.2	163.5	2321	260.6	93.3	2005	2099	0.956
Noviembre	189.4	142.8	2025	131.0	211.9	1819	2031	0.896
Diciembre	198.2	140.8	1988	63.7	213.1	1886	2099	0.898
Año	1962.1	1952.4	27483	3750.7	1818.0	22891	24709	0.926

Legendas:

GlobHor

GlobEff

E\_Avail

EUunused

Irradiación global horizontal

Global efectivo, corr. para IAM y sombreados

Energía solar disponible

Energía sin utilizar (batería llena)

E\_Miss

E\_User

E\_Load

SolFrac

Energía faltante

Energía suministrada al usuario

Necesidad de energía del usuario

Fracción solar (Eutilizada/Enecesitada)

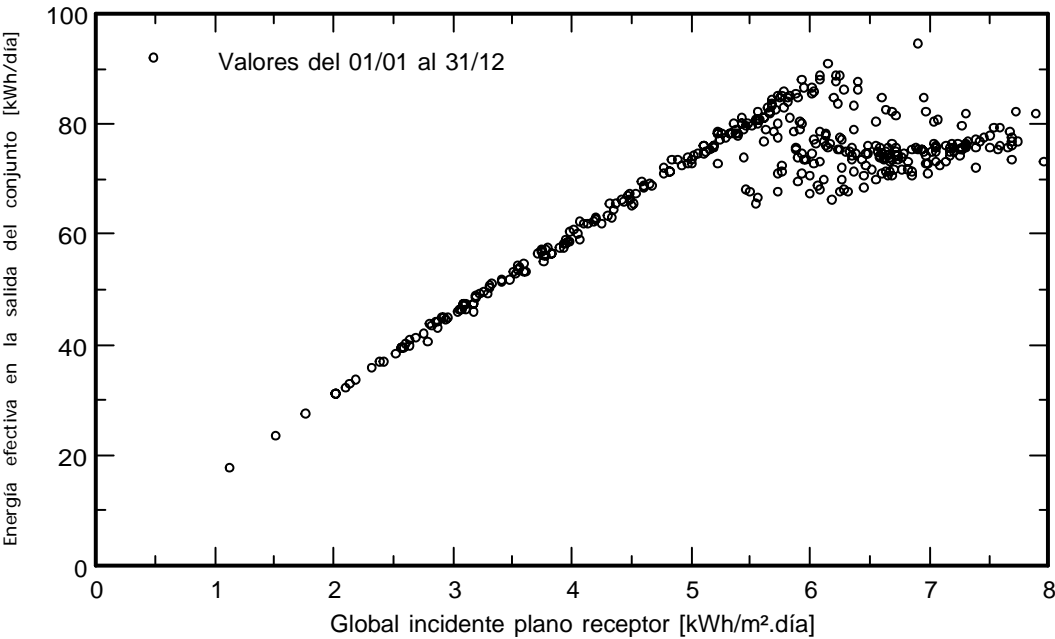
Sistema aislado: Gráficos especiales

Proyecto : OPOMLI - Passe Hermitage

Variante de simulación : OPOMLI RÉUNION ELEVACIÓN FIJA 40°

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías			
Horizonte	Elevación Media	1.0°			
Orientación Campos FV	inclinación	40°	acimut	0°	
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom	410 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total	17.22 kWp	
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología	Lithium-ion, NCA	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	101 V / 536 Ah	
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global	24.71 MWh/año	

Diagrama entrada/salida diaria



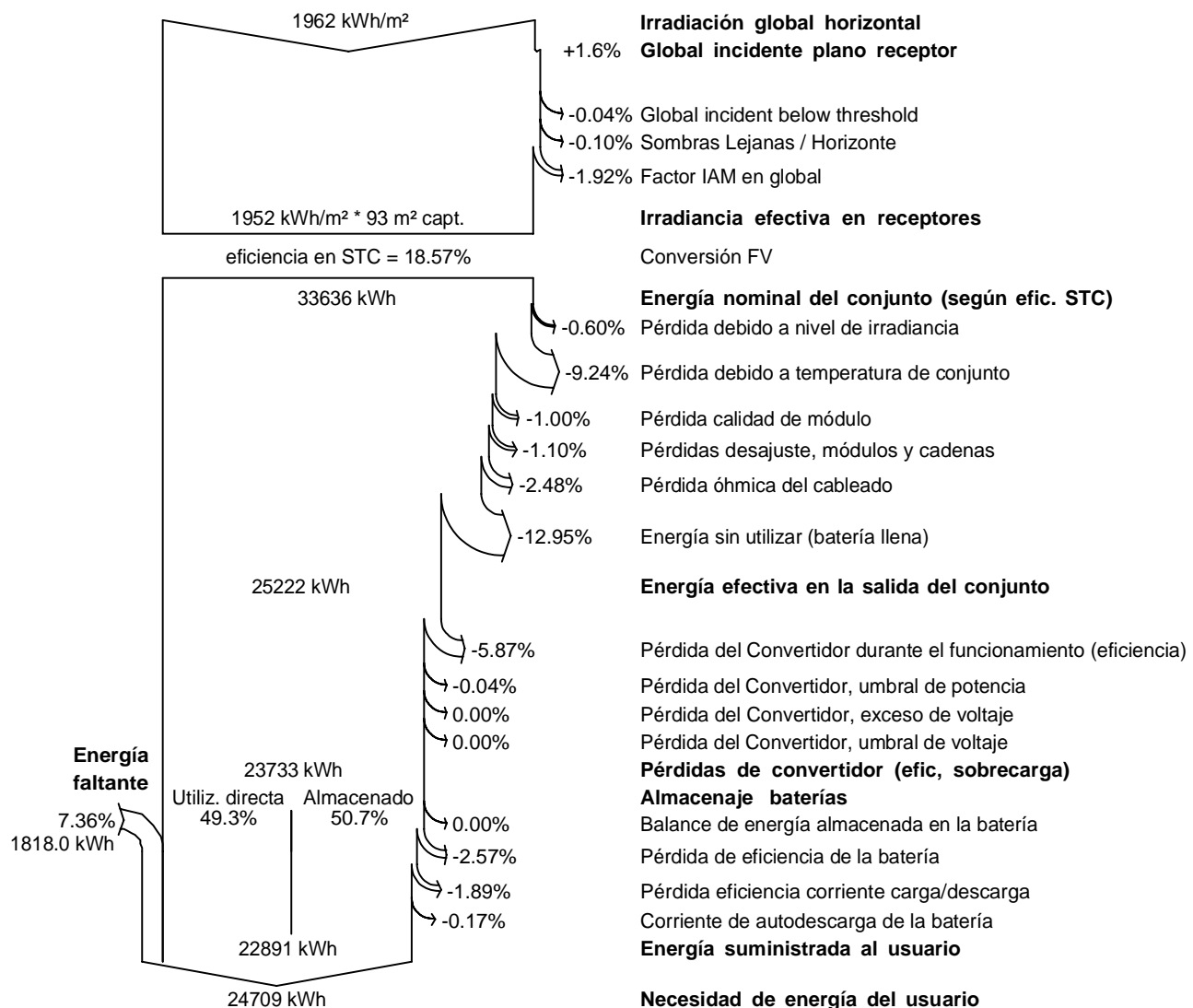
## Sistema aislado: Diagrama de pérdidas

**Proyecto :** OPOMLI - Passe Hermitage

**Variante de simulación :** OPOMLI RÉUNION ELEVACIÓN FIJA 40°

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías			
<b>Horizonte</b>	Elevación Media	1.0°			
Orientación Campos FV	inclinación	40°	acimut	0°	
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom	410 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total	<b>17.22 kWp</b>	
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología	Lithium-ion, NCA	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	<b>101 V / 536 Ah</b>	
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global	24.71 MWh/año	

### Diagrama de pérdida durante todo el año



## Anexo I.2. Resultados PVsyst VC1



PVSYST V6.84	BBENERGYLAB (France)				06/10/19		Página 1/6																													
<div>Sistema aislado: Parámetros de la simulación</div> <div> <div>Proyecto : OPOMLI - Passe Hermitage</div> <div> <div>Sitio geográfico</div> <div>Passe de l'Hermitage</div> <div>País</div> <div>India</div> </div> <div> <div>Ubicación</div> <div> <div>Latitud</div> <div>-21.09° S</div> <div>Longitud</div> <div>55.22° E</div> </div> <div> <div>Tiempo definido como</div> <div> <div>Hora Legal</div> <div>Huso horario UT+4</div> <div>Altitud</div> <div>0 m</div> </div> </div> <div> <div>Datos meteorológicos:</div> <div>Passe de l'Hermitage</div> <div>Solar Gis (1994 - 2011) - Sintético</div> </div> </div> </div>																																				
<div> <div>Variante de simulación :</div> <div>OPOMLI RÉUNION EE WINTER 40 - SUMMER 20</div> </div> <div> <div>Fecha de simulación</div> <div>06/10/19 19h14</div> </div>																																				
<div> <div>Parámetros de la simulación</div> <div>Tipo de sistema</div> <div>Sistema aislado con baterías</div> </div> <div> <div>Plano capt.: Ajuste de inclinación estacional</div> <div> <div>Acimut</div> <div>0°</div> <div>Estación invernal</div> <div>J-A-S-A-M-J</div> </div> <div> <div>Inclinación estival</div> <div>24°</div> <div>Inclinación invernal</div> <div>50°</div> </div> </div> <div> <div>Modelos empleados</div> <div>Transposición</div> <div>Perez</div> <div>Difuso</div> <div>Perez, Meteonorm</div> </div> <div> <div>Horizonte</div> <div>Elevación Media</div> <div>1.0°</div> </div> <div> <div>Necesidades del usuario :</div> <div>Definición ext. por archivo</div> <div>Hourly_Parameter_Template_OPOMLI_V3.csv</div> </div>																																				
<table border="1"> <tr> <td>Ene.</td><td>Feb.</td><td>Mar.</td><td>Abr.</td><td>May.</td><td>Jun.</td><td>Jul.</td><td>Ago.</td><td>Sep.</td><td>Oct.</td><td>Nov.</td><td>Dic.</td><td>Año</td><td></td></tr> <tr> <td>2099</td><td>1896</td><td>2099</td><td>2031</td><td>2099</td><td>2031</td><td>2099</td><td>2099</td><td>2031</td><td>2099</td><td>2031</td><td>2099</td><td>24709</td><td>kWh</td></tr> </table>									Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año		2099	1896	2099	2031	2099	2031	2099	2099	2031	2099	2031	2099	24709	kWh
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año																								
2099	1896	2099	2031	2099	2031	2099	2099	2031	2099	2031	2099	24709	kWh																							
<div> <div>Características del conjunto FV</div> <div> <div>Módulo FV</div> <div>Si-poly</div> <div>Modelo</div> <div>CS3W-410P HE</div> </div> <div> <div>Base de datos PVsyst original</div> <div>Fabricante</div> <div>Canadian Solar Inc.</div> </div> <div> <div>Número de módulos FV</div> <div>En serie</div> <div>3 módulos</div> <div>En paralelo</div> <div>14 cadenas</div> </div> <div> <div>Núm. total de módulos FV</div> <div>Núm. módulos</div> <div>42</div> <div>Pnom unitaria</div> <div>410 Wp</div> </div> <div> <div>Potencia global del conjunto</div> <div>Nominal (STC)</div> <div>17.22 kWp</div> <div>En cond. de funciona.</div> <div>15.63 kWp (50°C)</div> </div> <div> <div>Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)</div> <div>U mpp</div> <div>106 V</div> <div>I mpp</div> <div>147 A</div> </div> <div> <div>Superficie total</div> <div>Superficie módulos</div> <div>92.8 m²</div> <div>Superficie célula</div> <div>83.3 m²</div> </div> </div> <div> <div>Parámetros del sistema</div> <div>Tipo de sistema</div> <div>Sistema aislado</div> </div> <div> <div>Batería</div> <div>Modelo</div> <div>Powerwall2</div> <div>Fabricante</div> <div>Tesla</div> </div> <div> <div>Características del paquete de baterías</div> <div>Núm. de unidades</div> <div>2 en serie x 2 en paralelo</div> <div>Voltaje</div> <div>101 V</div> <div>Capacidad nominal</div> <div>536 Ah</div> <div>Descarga: mín. SOC</div> <div>10.0 %</div> <div>Energía almacenada</div> <div>49.0 kWh</div> <div>Temperatura</div> <div>Fijada (25°C)</div> </div> <div> <div>Regulador</div> <div>Modelo</div> <div>Universal controller with MPPT converter</div> <div>Tecnología</div> <div>MPPT converter</div> <div>Coef. temp.</div> <div>-5.0 mV/°C/elem.</div> </div> <div> <div>Convertidor</div> <div>Eficiencias Máx. y EURO</div> <div>97.0 / 95.0 %</div> </div> <div> <div>Umbral de Regulación Baterías</div> <div>Umbral de mando según</div> <div>SOC calculation</div> <div>Carga</div> <div>SOC = 0.96 / 0.80</div> <div>Descarga</div> <div>SOC = 0.10 / 0.35</div> </div>																																				
<div>Factores de pérdida del conjunto FV</div> <div> <div>Factor de pérdidas térmicas</div> <div>Uc (const)</div> <div>20.0 W/m²K</div> <div>Uv (viento)</div> <div>0.0 W/m²K / m/s</div> </div> <div> <div>Pérdida óhmica en el Cableado</div> <div>Res. global conjunto</div> <div>20 mOhm</div> <div>Fracción de pérdidas</div> <div>2.5 % en STC</div> </div> <div> <div>Pérdida Diodos en Serie</div> <div>Caída de voltaje</div> <div>0.7 V</div> <div>Fracción de pérdidas</div> <div>0.6 % en STC</div> </div>																																				

## Sistema aislado: Parámetros de la simulación

Pérdida Calidad Módulo	Fracción de pérdidas	1.0 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos	Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas	Fracción de pérdidas	0.10 %

Efecto de incidencia, perfil definido por el usuario (IAM): Perfil personalizado

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1.000	1.000	1.000	0.990	0.990	0.970	0.920	0.760	0.000

# Sistema aislado: Definición del horizonte

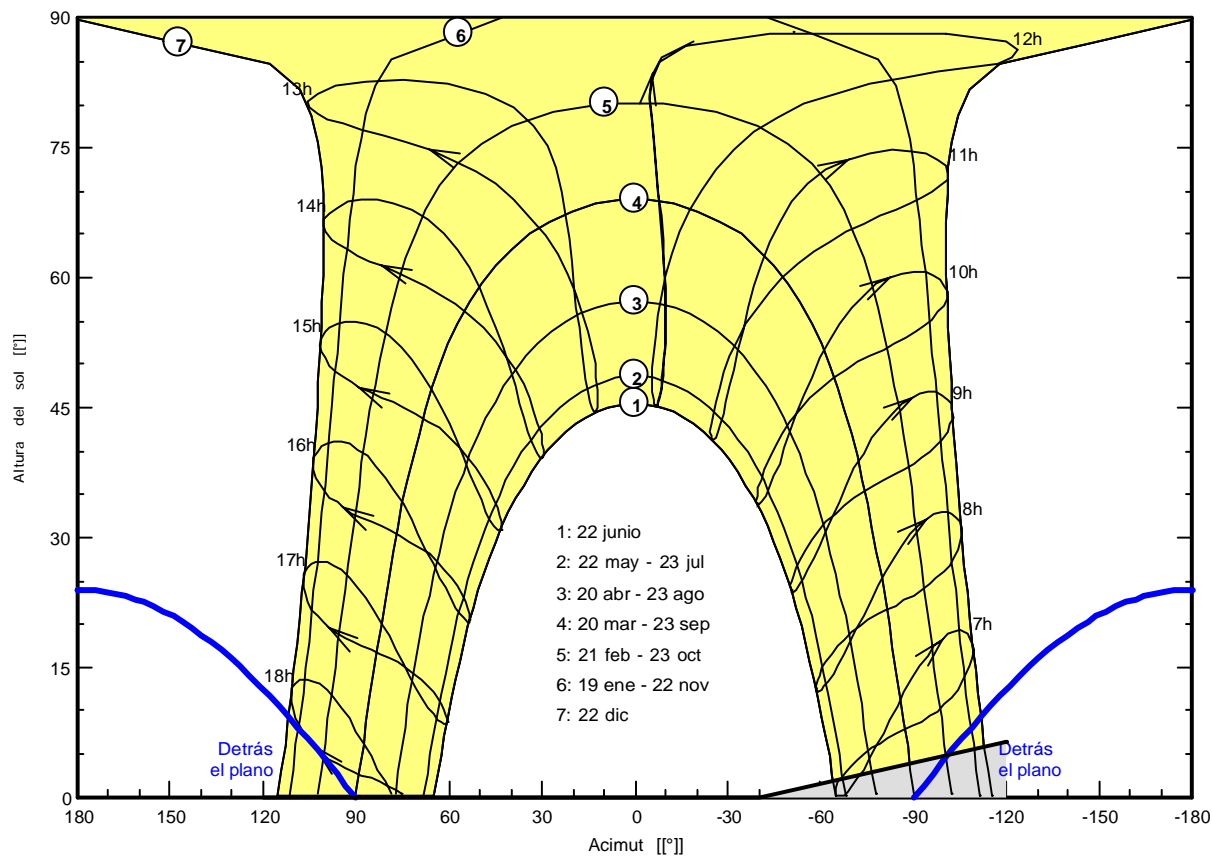
**Proyecto :** OPOMLI - Passe Hermitage  
**Variante de simulación :** OPOMLI RÉUNION EE WINTER 40 - SUMMER 20

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías	
<b>Horizonte</b>	Elevación Media	1.0°	
Orientación Campos FV	Inclinación estacional: verano/invierno	24°/50°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom 410 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total <b>17.22 kWp</b>
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología Lithium-ion, NCA
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad <b>101 V / 536 Ah</b>
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global 24.71 MWh/año

<b>Horizonte</b>	Elevación Media	1.0°	Factor Difuso	1.00
	Factor Albedo	100 %	Fracción Albedo	0.99

Altura [°]	6.3	0.0	0.0	0.0
Acimut [°]	-120	-40	40	120

Ligne d'horizon à Passe de l'Hermitage



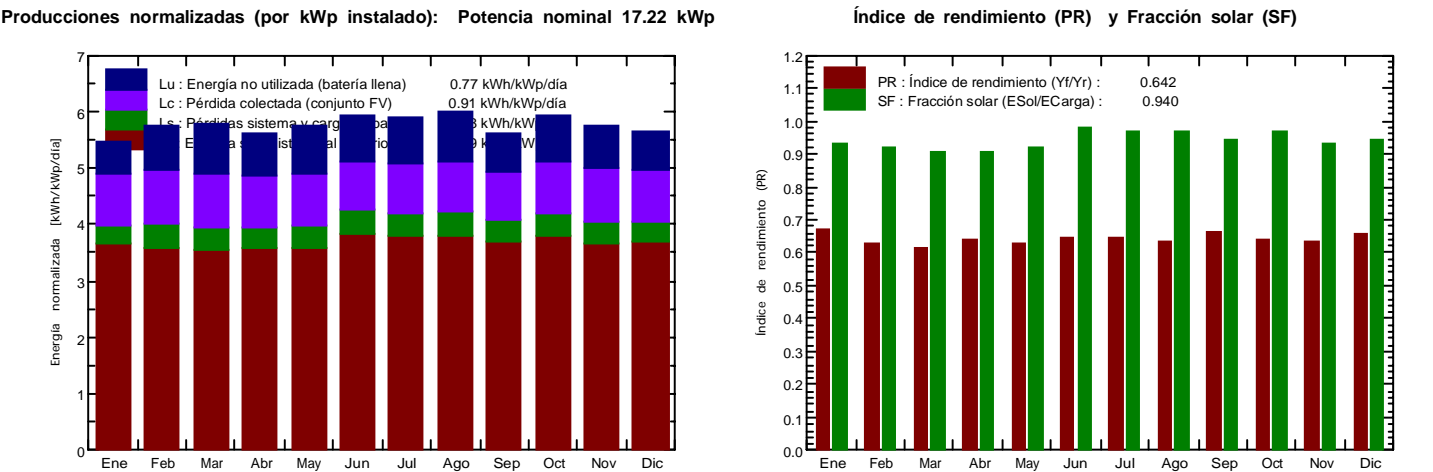
Sistema aislado: Resultados principales

Proyecto : OPOMLI - Passe Hermitage

Variante de simulación : OPOMLI RÉUNION EE WINTER 40 - SUMMER 20

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías		
Horizonte	Elevación Media	1.0°		
Orientación Campos	Inclinación estacional: verano/invierno	24°/50°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom	410 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total	17.22 kWp
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología	Lithium-ion, NCA
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	101 V / 536 Ah
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global	24.71 MWh/año

Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	Energía disponible	28961 kWh/año	Produc. específica	1682 kWh/kWp/año
	Energía utilizada	23221 kWh/año	Energía excedente (inutilizado)	4860 kWh/año
	Índice de rendimiento (PR)	64.18 %	Fracción solar (SF)	93.97 %
Pérdida de carga	Fracción de tiempo	7.0 %	Energía faltante	1489 kWh/año
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste EDD)	EDD	72.3%	EDD estático	80.0%
	Duración de vida de la batería	3.6 años		



OPOMLI RÉUNION EE WINTER 40 - SUMMER 20

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUunused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac
Enero	189.5	165.2	2306	305.7	148.6	1950	2099	0.929
Febrero	168.2	157.8	2194	369.3	160.4	1735	1896	0.915
Marzo	171.8	176.0	2444	470.4	193.1	1905	2099	0.908
Abril	149.6	165.4	2310	392.2	186.0	1845	2031	0.908
Mayo	134.3	176.4	2467	460.9	174.4	1924	2099	0.917
Junio	121.5	175.4	2479	416.0	47.3	1984	2031	0.977
Julio	131.3	180.5	2545	437.0	63.6	2035	2099	0.970
Agosto	151.4	183.0	2599	474.1	65.7	2033	2099	0.969
Septiembre	170.7	164.4	2334	346.7	114.3	1917	2031	0.944
Octubre	186.2	179.9	2540	443.5	70.8	2028	2099	0.966
Noviembre	189.4	167.8	2360	389.4	146.5	1884	2031	0.928
Diciembre	198.2	170.2	2383	354.8	118.0	1981	2099	0.944
Año	1962.1	2062.1	28961	4859.8	1488.9	23221	24709	0.940

Legendas:

GlobHor

GlobEff

E\_Avail

EUunused

Irradiación global horizontal

Global efectivo, corr. para IAM y sombreados

Energía solar disponible

Energía sin utilizar (batería llena)

E\_Miss

E\_User

E\_Load

SolFrac

Energía faltante

Energía suministrada al usuario

Necesidad de energía del usuario

Fracción solar (Eutilizada/Enecesitada)

Sistema aislado: Gráficos especiales

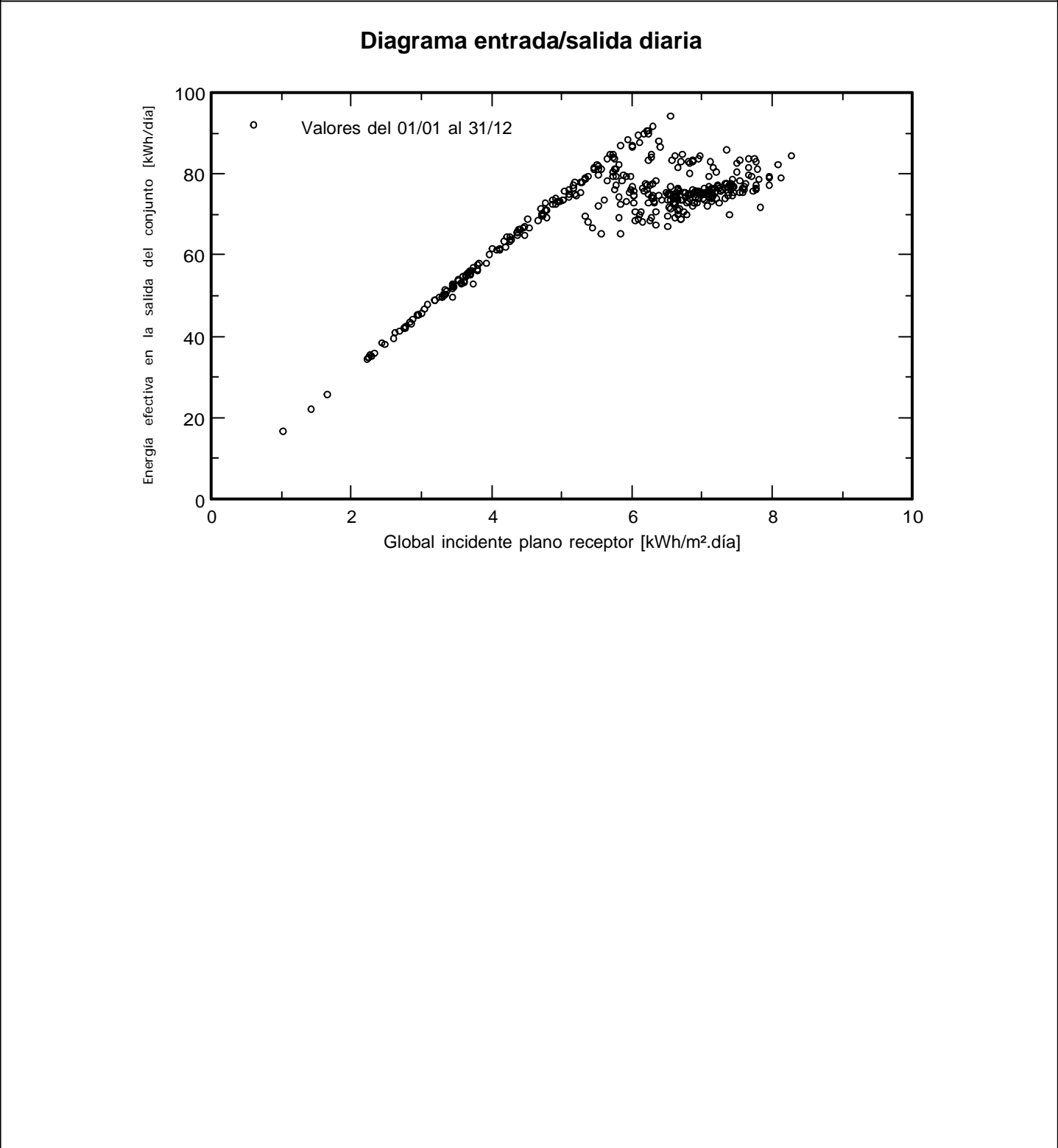
Proyecto :

OPOMLI - Passe Hermitage

Variante de simulación :

OPOMLI RÉUNION EE WINTER 40 - SUMMER 20

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías	
Horizonte	Elevación Media	1.0°	
Orientación Campos FV	Inclinación estacional: verano/invierno	24°/50°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom 410 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total <b>17.22 kWp</b>
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología Lithium-ion, NCA
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad <b>101 V / 536 Ah</b>
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global 24.71 MWh/año

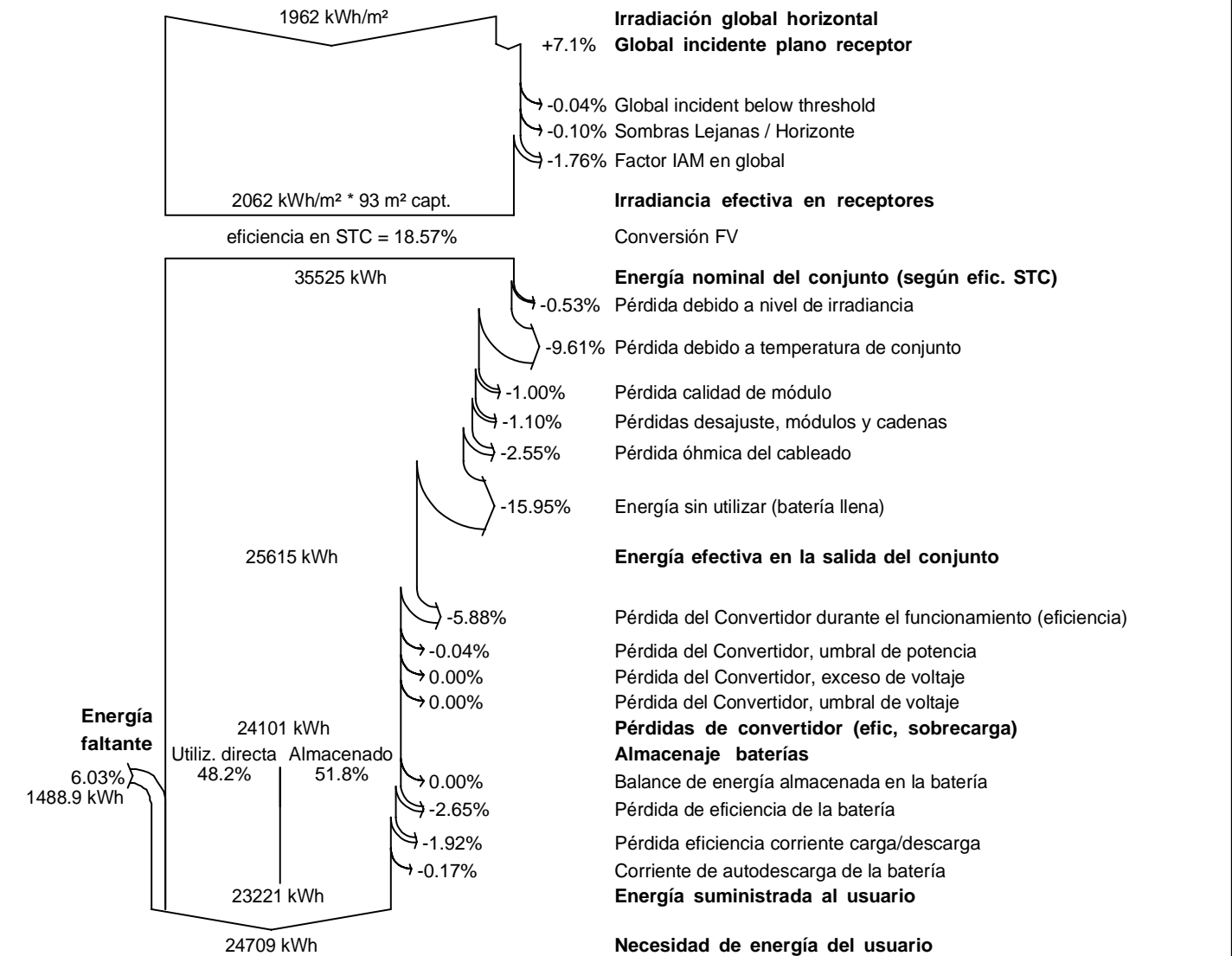


# Sistema aislado: Diagrama de pérdidas

**Proyecto :** OPOMLI - Passe Hermitage  
**Variante de simulación :** OPOMLI RÉUNION EE WINTER 40 - SUMMER 20

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías			
Horizonte	Elevación Media	1.0°			
Orientación Campos FV	Inclinación estacional: verano/invierno	24°/50°	acimut	0°	
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom	410 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total	17.22 kWp	
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología	Lithium-ion, NCA	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	101 V / 536 Ah	
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global	24.71 MWh/año	

Diagrama de pérdida durante todo el año



## Anexo I.3. Resultados PVsyst VC2



Sistema aislado: Parámetros de la simulación

Proyecto :		OPOMLI - Passe Hermitage			
Sitio geográfico		Passe de l'Hermitage		País	India
Ubicación		Latitud	-21.09° S	Longitud	55.22° E
Tiempo definido como		Hora Legal	Huso horario UT+4	Altitud	0 m
		Albedo	0.10		
Datos meteorológicos:		Passe de l'Hermitage	Solar Gis (1994 - 2011) - Sintético		

Variante de simulación : OPOMLI RÉUNION SEGUIDOR N/S 30°

Fecha de simulación 06/10/19 19h32

Parámetros de la simulación		Tipo de sistema		Sistema aislado con baterías	
Plano de seguimiento, eje inclinado	Límites de rotación	Inclinación eje	30°	Acimut eje	0°
		Fi mínimo	-50°	Fi máximo	50°
		Tracking algorithm	Astronomic calculation		
Estrategia "Retroceso"	Núm. de helióstatos	3	Conjunto en cobertizos simple		
	Separación helióstatos	4.00 m	Ancho receptor	2.14 m	
Banda inactiva	Izquierda	0.02 m	Derecha	0.02 m	
Ángulo límite del retroceso	Límites de fi	±50.0°	Ocupación del suelo (GCR)	53.4 %	
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteororm	
Horizonte	Elevación Media	1.0°			
Sombreados cercanos	Sombreado lineal				
Necesidades del usuario :	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Template_OPOMLI_V3.csv			

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	
2099	1896	2099	2031	2099	2031	2099	2099	2031	2099	2031	2099	24709	kWh

Características del conjunto FV					
Módulo FV	Si-poly	Modelo	CS3W-410P HE		
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Canadian Solar Inc.		
Número de módulos FV		En serie	3 módulos	En paralelo	14 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	42	Pnom unitaria	410 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	17.22 kWp	En cond. de funciona.	15.63 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	106 V	I mpp	147 A
Superficie total		Superficie módulos	92.8 m²	Superficie célula	83.3 m²
Parámetros del sistema		Tipo de sistema	Sistema aislado		
Batería		Modelo	Powerwall2		
		Fabricante	Tesla		
Características del paquete de baterías		Núm. de unidades	2 en serie x 2 en paralelo		
		Voltaje	101 V	Capacidad nominal	536 Ah
		Descarga: mín. SOC	10.0 %	Energía almacenada	49.0 kWh
		Temperatura	Fijada (25°C)		

Sistema aislado: Parámetros de la simulación

Regulador	Modelo	Universal controller with MPPT converter		
	Tecnología	MPPT converter	Coef. temp.	-5.0 mV/°C/elem.
Convertidor	Eficiencias Máx. y EURO	97.0 / 95.0 %		
Umbral de Regulación Baterías	Umbral de mando según	SOC calculation		
	Carga	SOC = 0.96 / 0.80		
	Descarga	SOC = 0.10 / 0.35		

Factores de pérdida del conjunto FV

Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s
Pérdida óhmica en el Cableado	Res. global conjunto	20 mOhm	Fracción de pérdidas	2.5 % en STC
Pérdida Diodos en Serie	Caída de voltaje	0.7 V	Fracción de pérdidas	0.6 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	1.0 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción de pérdidas	0.10 %
Efecto de incidencia, perfil definido por el usuario (IAM): Perfil personalizado				

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1.000	1.000	1.000	0.990	0.990	0.970	0.920	0.760	0.000

# Sistema aislado: Definición del horizonte

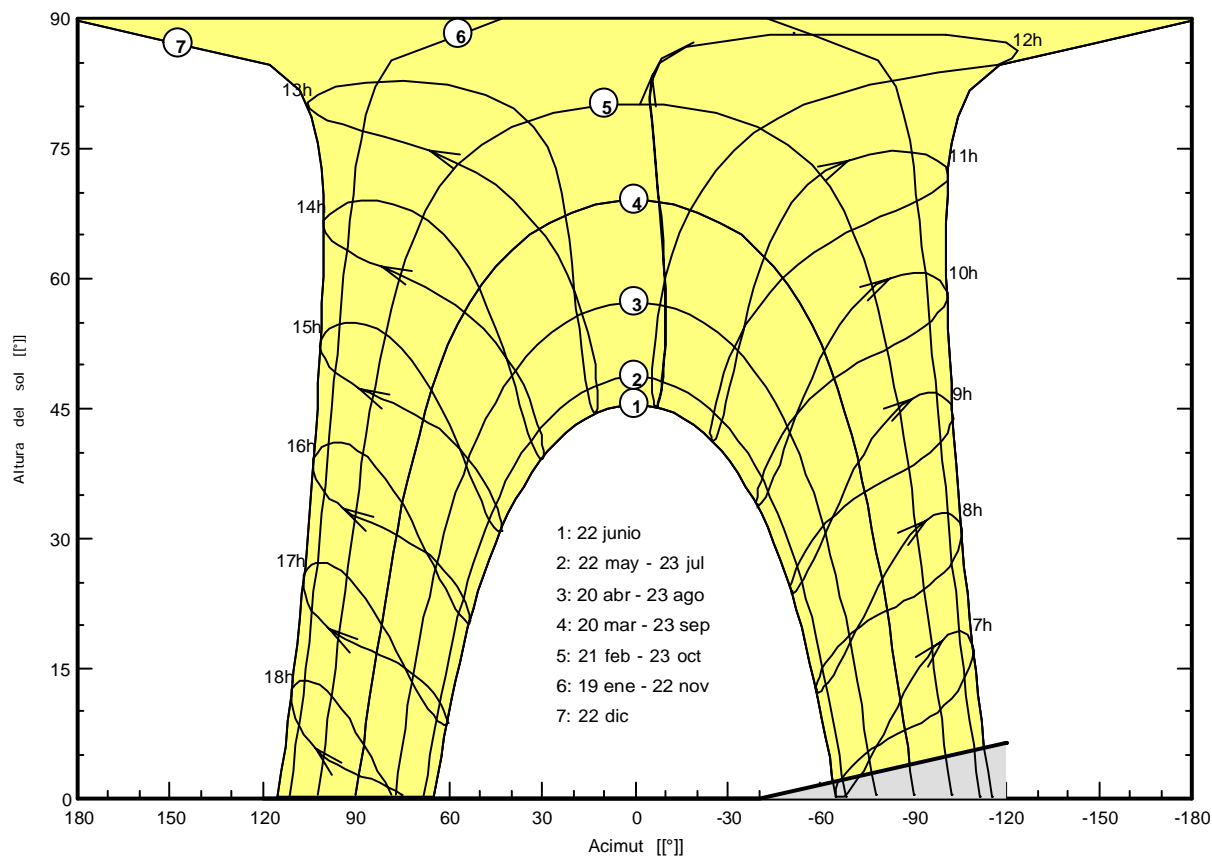
**Proyecto :** OPOMLI - Passe Hermitage  
**Variante de simulación :** OPOMLI RÉUNION SEGUIDOR N/S 30°

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías	
Horizonte	Elevación Media	1.0°	
Sombreados cercanos	Sombreado lineal		
Orientación Camposol	Seguidor, eje inclinado, Inclinación eje	30°	Acimut eje 0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom 410 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total <b>17.22 kWp</b>
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología Lithium-ion, NCA
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad <b>101 V / 536 Ah</b>
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global 24.71 MWh/año

Horizonte	Elevación Media	1.0°	Factor Difuso	1.00
	Factor Albedo	100 %	Fracción Albedo	1.00

Altura [°]	6.3	0.0	0.0	0.0
Acimut [°]	-120	-40	40	120

Ligne d'horizon à Passe de l'Hermitage



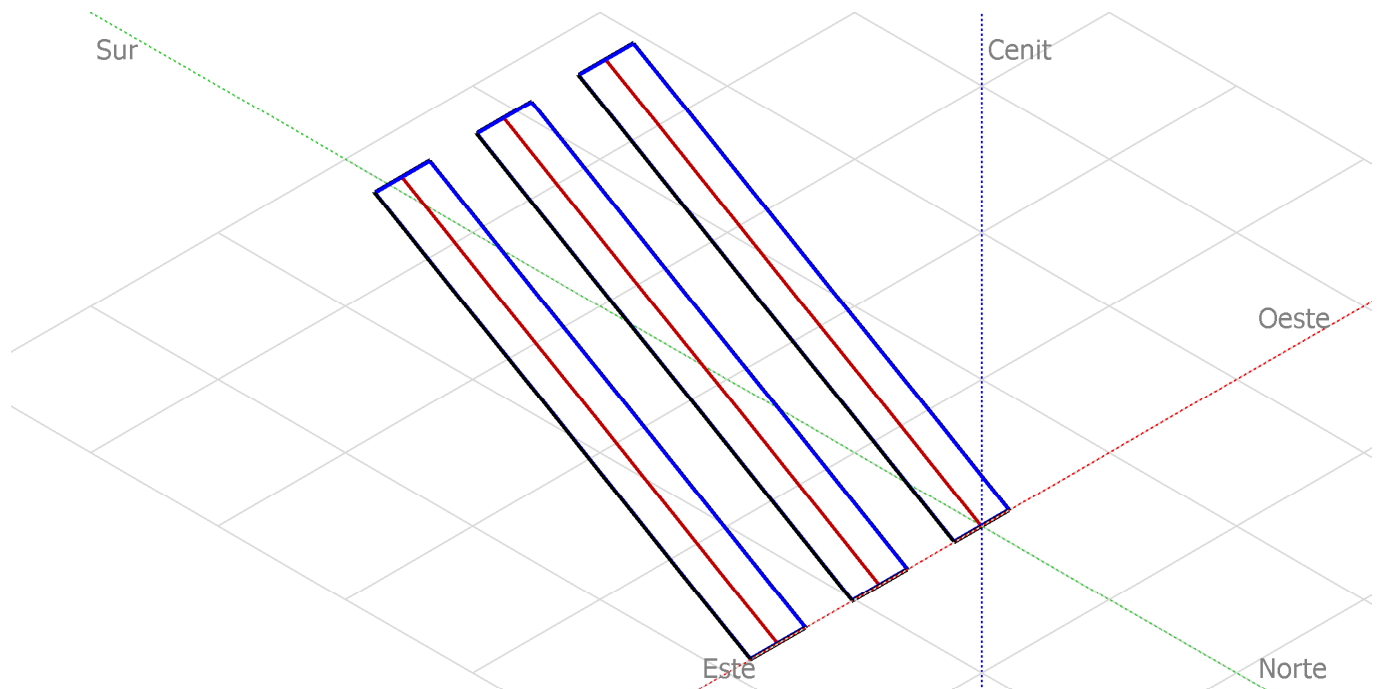
## Sistema aislado: Definición del sombreado cercano

**Proyecto :** OPOMLI - Passe Hermitage

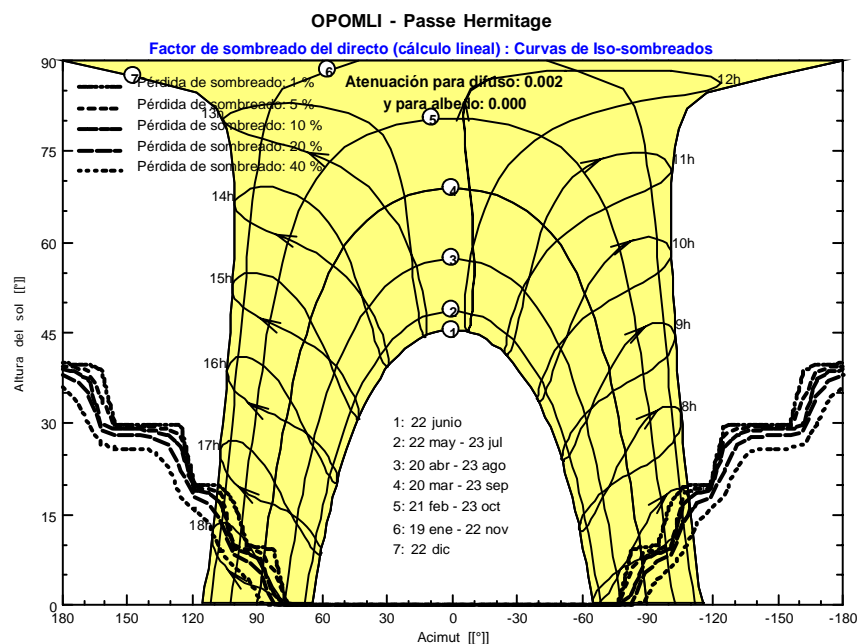
**Variante de simulación :** OPOMLI RÉUNION SEGUIDOR N/S 30°

<b>Parámetros principales del sistema</b>	<b>Tipo de sistema</b>	<b>Sistema aislado con baterías</b>	
<b>Horizonte</b>	Elevación Media	1.0°	
<b>Sombreados cercanos</b>	Sombreado lineal		
Orientación Campos FV	Seguidor, eje inclinado, Inclinación eje	30°	Acimut eje 0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom 410 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total <b>17.22 kWp</b>
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología Lithium-ion, NCA
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad <b>101 V / 536 Ah</b>
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global 24.71 MWh/año

### Perspectiva del campo FV y situación del sombreado cercano



### Diagrama de Iso-sombreados



Sistema aislado: Resultados principales

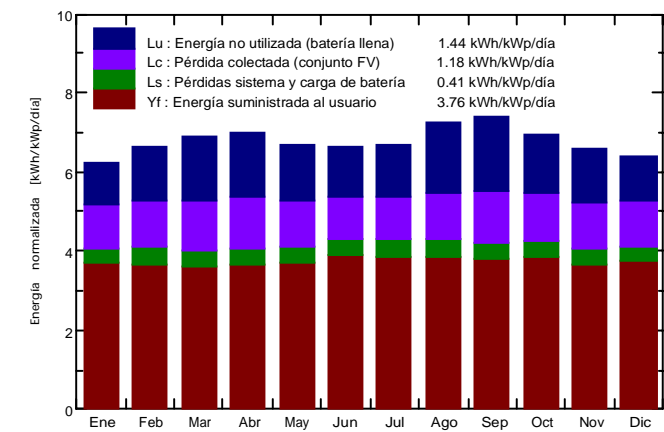
Proyecto : OPOMLI - Passe Hermitage

Variante de simulación : OPOMLI RÉUNION SEGUIDOR N/S 30°

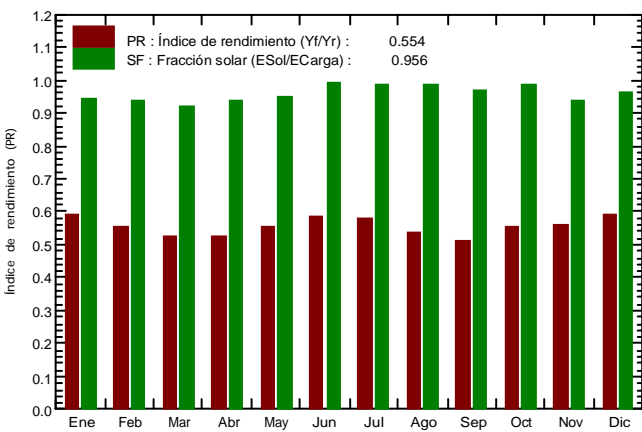
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías	
Horizonte	Elevación Media	1.0°	
Sombreados cercanos	Sombreado lineal		
Orientación Camposol	Seguidor, eje inclinado, Inclinación eje	30°	Acimut eje 0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom 410 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total 17.22 kWp
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología Lithium-ion, NCA
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad 101 V / 536 Ah
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global 24.71 MWh/año

Resultados principales de la simulación			
Producción del sistema	Energía disponible	33681 kWh/año	Produc. específica 1956 kWh/kWp/año
	Energía utilizada	23633 kWh/año	Energía excedente (inutilizado) 9021 kWh/año
	Índice de rendimiento (PR)	55.44 %	Fracción solar (SF) 95.65 %
Pérdida de carga	Fracción de tiempo	5.3 %	Energía faltante 1076 kWh/año
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste EDD)	EDD	69.2%	EDD estático 80.0%
	Duración de vida de la batería	3.2 años	

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 17.22 kWp



Índice de rendimiento (PR) y Fracción solar (SF)



OPOMLI RÉUNION SEGUIDOR N/S 30°

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac
Enero	189.5	188.1	2605	560.3	125.5	1973	2099	0.940
Febrero	168.2	181.3	2504	649.4	122.7	1773	1896	0.935
Marzo	171.8	208.6	2874	863.0	176.2	1922	2099	0.916
Abril	149.6	206.1	2839	851.1	134.4	1897	2031	0.934
Mayo	134.3	204.0	2832	755.4	114.0	1985	2099	0.946
Junio	121.5	195.9	2765	669.7	13.2	2018	2031	0.994
Julio	131.3	202.8	2849	694.3	35.4	2063	2099	0.983
Agosto	151.4	220.3	3105	939.9	31.4	2067	2099	0.985
Septiembre	170.7	217.0	3022	964.2	67.2	1964	2031	0.967
Octubre	186.2	209.9	2941	786.9	34.7	2064	2099	0.983
Noviembre	189.4	191.0	2671	687.7	132.5	1898	2031	0.935
Diciembre	198.2	191.9	2673	598.7	88.7	2010	2099	0.958
Año	1962.1	2416.8	33681	9020.7	1075.9	23633	24709	0.956

Legendas:

GlobHor

GlobEff

E\_Avail

EUnused

Irradiación global horizontal

Global efectivo, corr. para IAM y sombreados

Energía solar disponible

Energía sin utilizar (batería llena)

E\_Miss

E\_User

E\_Load

SolFrac

Energía faltante

Energía suministrada al usuario

Necesidad de energía del usuario

Fracción solar (Eutilizada/Enecesitada)

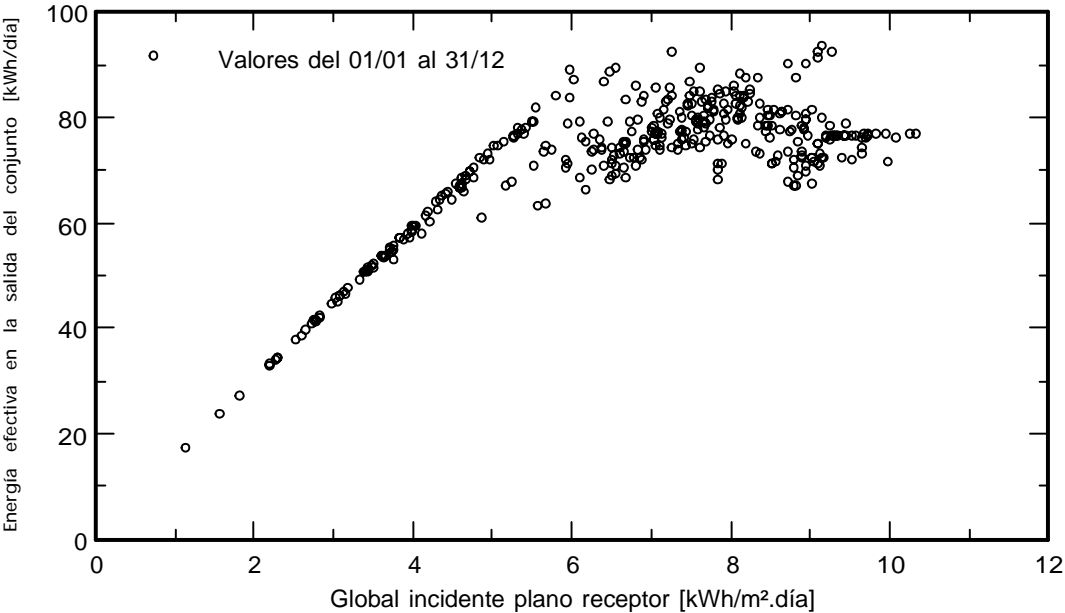
Sistema aislado: Gráficos especiales

Proyecto : OPOMLI - Passe Hermitage

Variante de simulación : OPOMLI RÉUNION SEGUIDOR N/S 30°

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías			
Horizonte	Elevación Media	1.0°			
Sombreados cercanos	Sombreado lineal				
Orientación Camposol	Seguidor, eje inclinado, Inclinación eje	30°	Acimut eje	0°	
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom	410 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total	17.22 kWp	
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología	Lithium-ion, NCA	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	101 V / 536 Ah	
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global	24.71 MWh/año	

Diagrama entrada/salida diaria



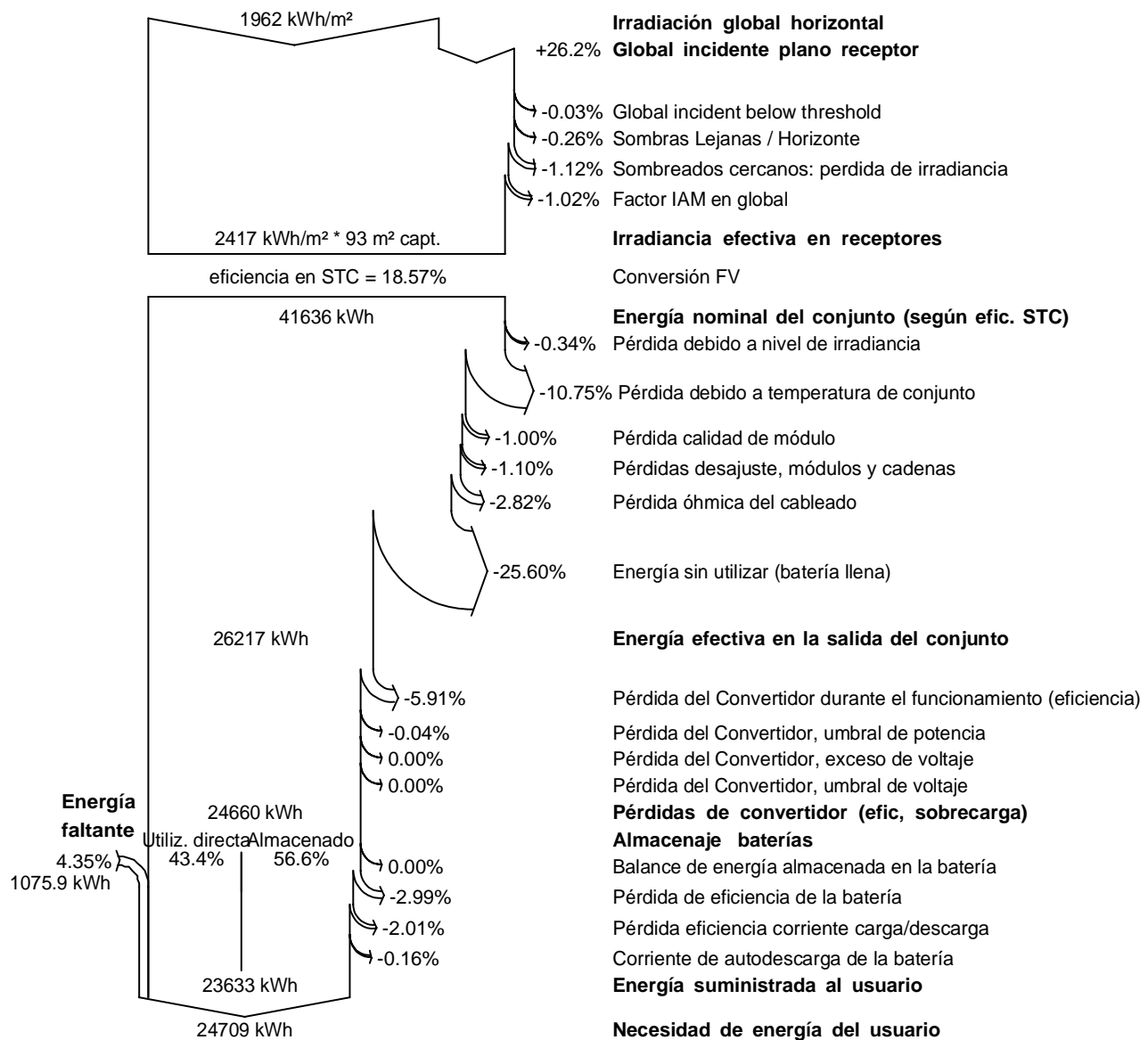
## Sistema aislado: Diagrama de pérdidas

**Proyecto :** OPOMLI - Passe Hermitage

**Variante de simulación :** OPOMLI RÉUNION SEGUIDOR N/S 30°

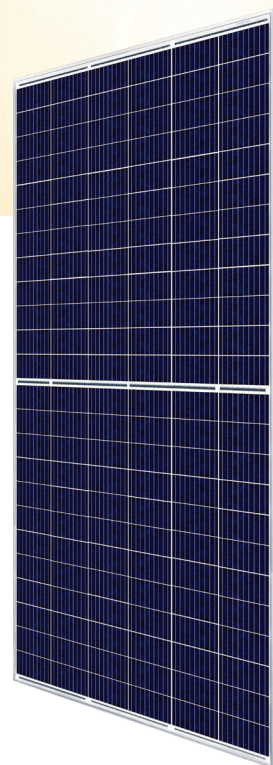
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías			
Horizonte	Elevación Media	1.0°			
Sombreados cercanos	Sombreado lineal				
Orientación Camposol	Seguidor, eje inclinado, Inclinación eje	30°	Acimut eje	0°	
Módulos FV	Modelo	CS3W-410P HE	Pnom	410 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	42	Pnom total	17.22 kWp	
Batería	Modelo	Powerwall2	Tecnología	Lithium-ion, NCA	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	101 V / 536 Ah	
Necesidades del usuario	Definición ext. por archivo	Hourly_Parameter_Templ	Global	24.71 MWh/año	

### Diagrama de pérdida durante todo el año





## Anexo II.1. Ficha técnica paneles fotovoltaicos



# HiKu

**SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE**

**395 W ~ 415 W**

**CS3W-395 | 400 | 405 | 410 | 415P**

## MORE POWER



24 % more power than conventional modules



Up to 4.5 % lower LCOE  
Up to 2.7 % lower system cost



Low NMOT:  $42 \pm 3$  °C  
Low temperature coefficient (Pmax):  
-0.37 % / °C



Better shading tolerance

## MORE RELIABLE



Lower internal current,  
lower hot spot temperature



Cell crack risk limited in small region,  
enhance the module reliability



Heavy snow load up to 5400 Pa,  
wind load up to 3600 Pa



**linear power output warranty**



**product warranty on materials  
and workmanship**

## MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2015 / Quality management system  
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

## PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CEC AU  
IEC61701 ED2: VDE / IEC62716: VDE  
UL 1703: CSA  
Take-e-way

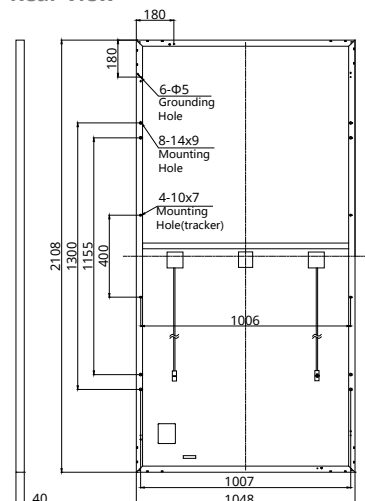


\* We can provide this product with special BOM specifically certified with salt mist, and ammonia tests. Please talk to our local technical sales representatives to get your customized solutions.

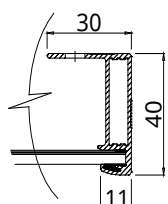
**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001.

## ENGINEERING DRAWING (mm)

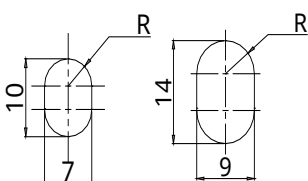
Rear View



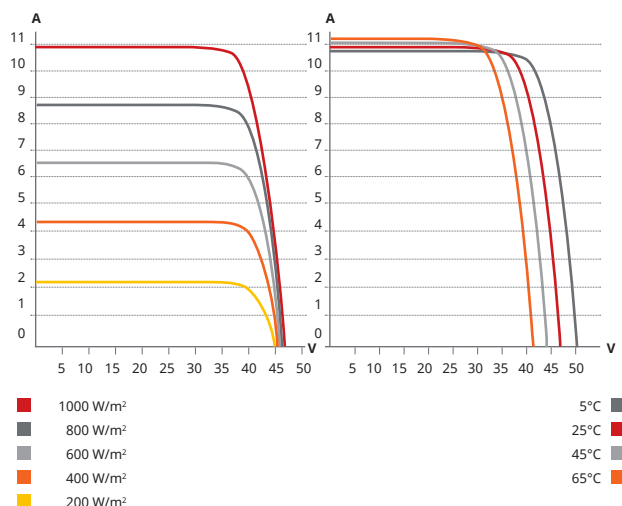
Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



## CS3W-400P / I-V CURVES



## ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (Pmax)	395 W	400 W	405 W	410 W	415 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.26 A	10.34 A	10.42 A	10.49 A	10.56 A
Open Circuit Voltage (Voc)	47.0 V	47.2 V	47.4 V	47.6 V	47.8 V
Short Circuit Current (Isc)	10.82 A	10.90 A	10.98 A	11.06 A	11.14 A
Module Efficiency	17.88%	18.11%	18.33%	18.56%	18.79%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	20 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 5 W				

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

## ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (Pmax)	293 W	297 W	301 W	304 W	308 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.1 V	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.35 A	8.42 A	8.48 A	8.52 A	8.58 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.0 V	44.2 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V
Short Circuit Current (Isc)	8.72 A	8.78 A	8.85 A	8.90 A	8.97 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

## MECHANICAL DATA

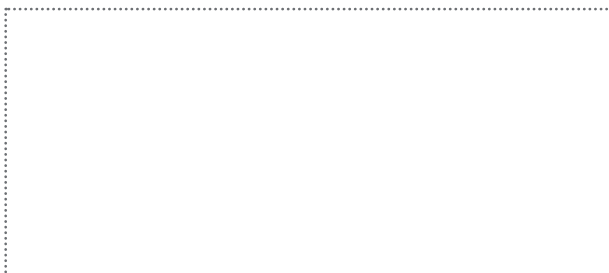
Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

## PARTNER SECTION



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

## CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

# Anexo II.2. Ficha técnica Eólica Silent Wind 500W

## una nueva generación de silentwind

Gracias a nuestro proceso de mejora continua, le presentamos la nueva versión del generador SILENTWIND 400+.

**seguro - silencioso - eficiente**



Sus principales mejoras:

Mayor eficiencia gracias a un rápido inicio de carga.  
Mejor seguimiento del viento, y funcionamiento uniforme gracias a un deflector de mayor tamaño.  
Cuerpo optimizado para una orientación más precisa del aerogenerador y un funcionamiento más fluido.  
Mástil reforzado para una mayor seguridad con vientos fuertes.



## datos técnicos

tipo de generador	CA, trifásico, autoexcitado
voltaje	12 / 24 / 48 V DC
salida	400W / 450W / 500W
velocidad del viento	14.5m/s
velocidad del viento para el arranque	2.2 m/s
inicio de la carga	~ 2.2 m/s
comprobación de seguridad en túnel de viento	122 km/h equivalentes
diámetro del rotor	1.15m
número de palas	3
peso de las palas	~ 150g / pala
material del rotor y de las palas	CFRP laminado a mano
velocidades de rotación de carga	590 - 1700 rpm
peso del generador	6.8kg
tamaño del embalaje	780x400x210mm
peso del embalaje	10kg
freno	Interrupción electrónica

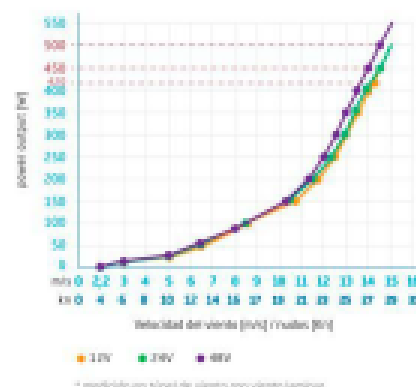
### controlador de carga híbrido con pantalla multifunción

voltage del sistema	12/24 V DC
potencia máx. del aerogenerador	450W / 30A
potencia máx. del panel solar	180Wp / 10A
información en la pantalla	V, A, W, Ah, kWh

## campos de aplicación

Vieiros.  
Uso independiente de la red eléctrica.  
Conexión a la red (48 V).  
Estaciones de recarga.  
Casos de vocaciones.  
Puntos de acceso a redes de área local inalámbricas.  
Unidades de estudio y monitorización.  
Proyectos en países en vías de desarrollo.  
Sistemas de gestión del tráfico.  
Sistemas de emergencia.  
Iluminación de calles.  
etc.

### curva de potencia



## Anexo II.3. Ficha técnica Bateria PowerWall2 Tesla



# POWERWALL 2 DC

The Tesla Powerwall is a DC battery system for residential or light commercial use. Its rechargeable lithium-ion battery pack provides energy storage for solar self-consumption, load shifting and backup power.

Powerwall's electrical interface is provided by an internal isolated bi-directional DC/DC converter that controls the charge and discharge of the battery for integration with grid-tied solar inverters. Its revolutionary compact design achieves market-leading energy density and is easy to install, enabling owners to quickly realize the benefits of reliable, clean power.

## PERFORMANCE SPECIFICATIONS

DC Energy <sup>1</sup>	13.5 kWh
Power, continuous	5 kW (charge and discharge)
Power, peak (10s)	7 kW (discharge only)
DC Voltage Range	350–550 V
DC Current, continuous	14.3 A
DC Current, peak (10s)	20 A
Depth of Discharge	100%
Internal Battery DC Voltage	50 V
Round Trip Efficiency <sup>1,2</sup>	91.8%
Warranty	10 years

<sup>1</sup>Values provided for 25°C (77°F), 3.3 kW charge/discharge power.

<sup>2</sup>DC to battery to DC, at beginning of life.

## INTERFACE SPECIFICATIONS

Communication Protocols	Modbus (RS485), CAN
Modularity	Multi-Powerwall capability with compatible inverters
User Interface	Tesla App

## ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Operating Temperature	–20°C to 50°C (–4°F to 122°F)
Storage Temperature	–30°C to 60°C (–22°F to 140°F)
Operating Humidity (RH)	Up to 100%, condensing
Maximum Altitude	3000 m (9843 ft)
Environment	Indoor and outdoor rated
Enclosure Type	NEMA 3R
Ingress Rating	IP67 (Battery & Power Electronics) IP56 (Wiring)
Noise Level @ 1m	<40 dBA at 30°C (86°F)

## MECHANICAL SPECIFICATIONS

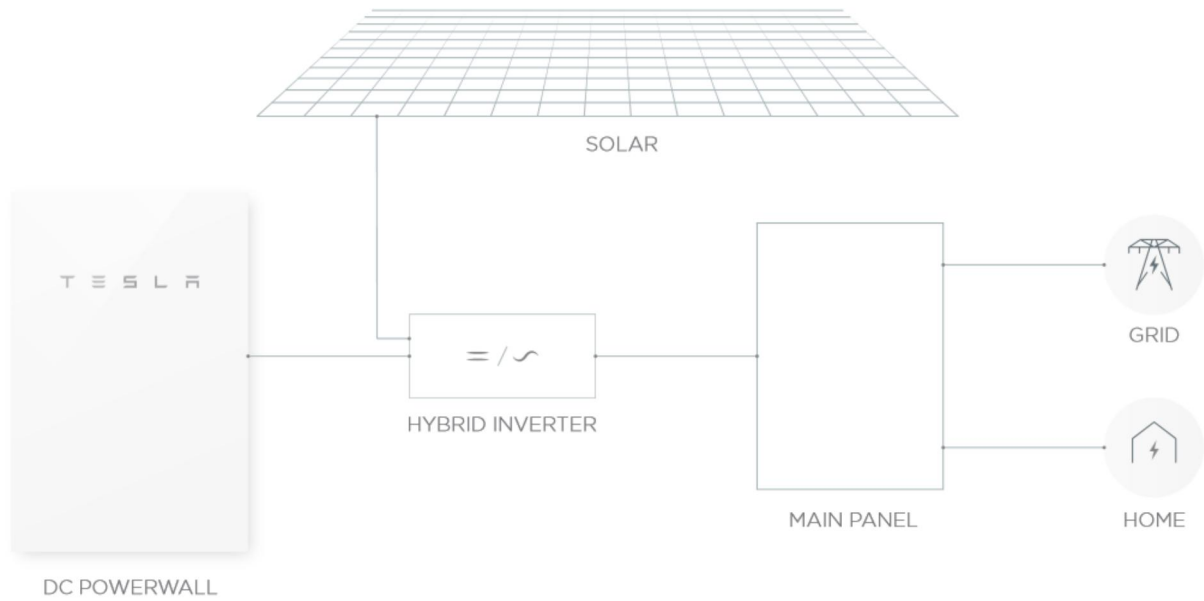
Dimensions	1150 mm x 755 mm x 155 mm (45.3 in x 29.7 in x 6.1 in)
Weight	120 kg (264.5 lbs)
Mounting options	Floor or wall mount

## COMPLIANCE INFORMATION

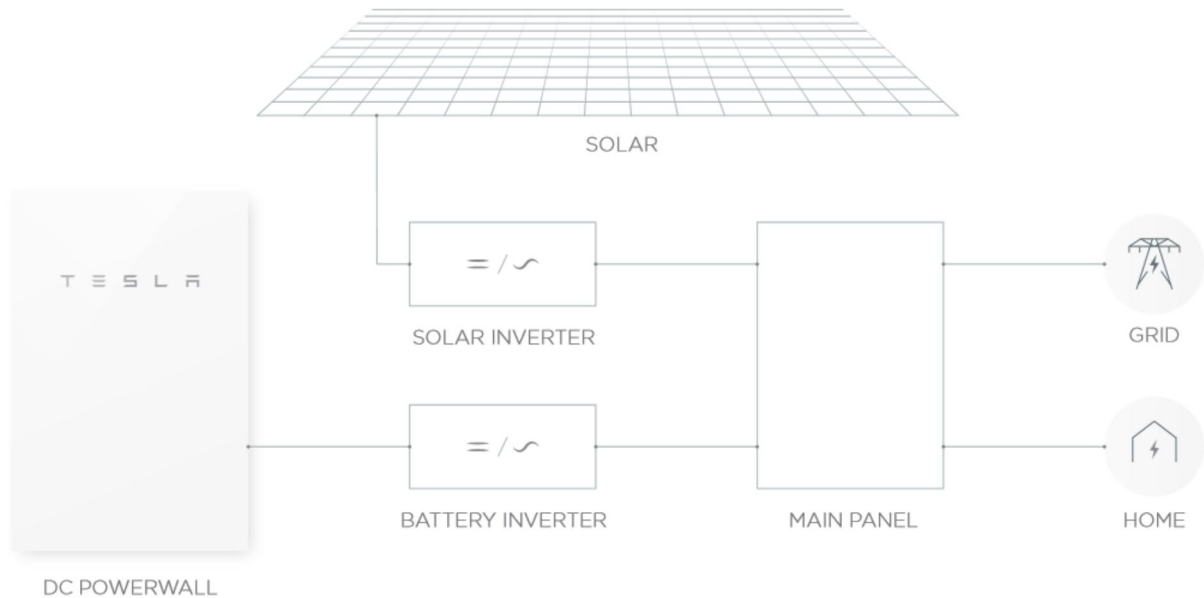
Safety	UL 1642, UL 1741, UL 1973, UL 9540, UN 38.3, IEC 62109-1, IEC 62619, CSA C22.2.107.1
Emissions	FCC Part 15 Class B, ICES 003, EN 61000 Class B
Environmental	RoHS Directive 2011/65/EU, WEEE Directive 2012/19/EU, 2006/66/EC
Seismic	AC156, IEEE 693-2005 (high)

# TYPICAL SYSTEM LAYOUTS

## DC-COUPLED POWERWALL SYSTEM WITH SOLAR



## AC-COUPLED POWERWALL SYSTEM WITH SOLAR

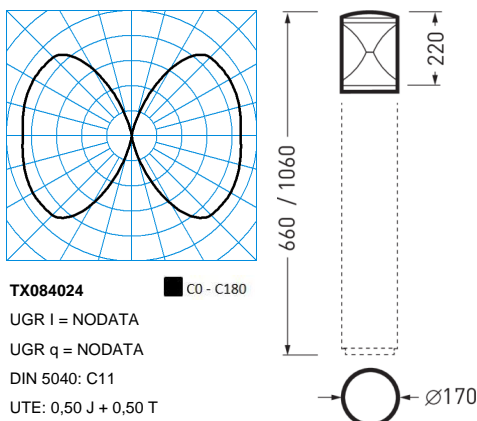




## Anexo II.4. Fichas técnicas equipos consumidores (no exhaustivo)

# 8851 RB/950-730 2G1S ETDD

TOC: 7319451



## Texto descriptivo

Unidad de cabeza de baliza con un reflector de cono doble y opal de PMMA. A utilizar en combinación con los tubos de soporte a pedir por separado en diferentes versiones y alturas. Para la iluminación de orientación en las zonas exteriores. 2 módulos LED con 4 LEDs cada uno, integrados en un sistema de lentes, de distribución directa. Distribución ancha y con simetría rotacional de las intensidades luminosas. Para una adaptación flexible a las tareas de iluminación están a su disposición otras características de iluminación. Flujo luminoso de las luminarias 950 lm, potencia conectada 10,50 W, rendimiento luminoso de la luminaria 90 lm/W. Color de luz color blanco cálido, temperatura del color (CCT) 3000 K, índice de reproducción cromática general (CRI)  $R_a > 70$ . Tubo de soporte con un perfil de aluminio extruido. Color antracita, similar a DB703 con efecto metálico, altamente resistente a la intemperie, lacado en polvo. Seewetter geeignete Beschichtung auf Anfrage. Diámetro de la luminaria 172 mm, altura de la luminaria 1060 mm. Cilindro terminal fabricado en PMMA altamente resistente al impacto, transparente. Clase de protección (EN 61140): II, grado de protección (DIN EN 60529): IP65, grado de la resistencia al impacto según IEC 62262: IK04. Con balasto electrónico digital regulable (DALI). La luminaria cumple con los requisitos fundamentales de las directivas de la UE y de la ley sobre la seguridad de los productos y lleva el marcado CE. Peso de 3,5 kg.

## Accesorios disponibles

Material	Denominación
7320000	Standrohr 440
7320100	Standrohr 840
7320200	Standrohr 840 Ü

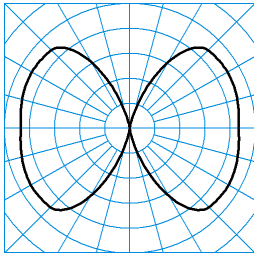
## Características del producto y datos característicos

<b>Áreas de aplicación</b>	Zonas peatonales Arcadas Caminos en parques y zonas verdes Complejos residenciales Conjuntos de escaleras Entradas Luz alrededor de los edificios	
<b>Tipo de luminaria</b>	Unidad de cabeza de baliza con un reflector de cono doble y opal de PMMA. A utilizar en combinación con los tubos de soporte a pedir por separado en diferentes versiones y alturas.	
<b>Tipos de montaje</b>	Colocación outdoor	
<b>Óptica de la luminaria</b>	2 módulos LED con 4 LEDs cada uno, integrados en un sistema de lentes, de distribución directa.	
<b>Sistema LED</b>	Valor inicial CLO	Valor final CLO
<b>Potencia conectada</b>	10,50 W	11,50 W
<b>Temperatura de color</b>	3.000 K	3.000 K
<b>Flujo luminoso nominal</b>	950 lm	950 lm
<b>Rendimiento luminoso</b>	90 lm/W	
<b>CEN flux code</b>	17 45 73 50 100 16 44 72 50	
<b>Índice de reproducción cromática</b>	70	
<b>Clase fotobiológica</b>	Grupo 0 - sin riesgo	
<b>Color de la luminaria</b>	DB703 Color antracita	
<b>Cuerpo de luminaria</b>	Tubo de soporte con un perfil de aluminio extruido.	
<b>Especificación eléctrica</b>	Con balasto electrónico digital regulable (DALI).	
<b>Rango de regulación</b>	20 - 100 %	
<b>Monitoring Ready</b>	No	
<b>frecuencia nominal</b>	50/60 Hz	
<b>tensión nominal</b>	220 - 240 V	
<b>Grado de protección</b>	IP65	
<b>Clase de protección</b>	II	
<b>Resistencia al impacto (IK)</b>	IK04	
<b>Temperatura ambiente</b>	25 °C	
<b>Máx. Luminarias B10</b>	18	
<b>Máx. Luminarias B16</b>	28	
<b>Máx. Luminarias C10</b>	29	
<b>Máx. Luminarias C16</b>	47	
<b>Altura net</b>	1.060 mm	
<b>Diámetro exterior</b>	172 mm	
<b>Peso</b>	3,5 kg	

**8851 RB/950-730 2G1S ETDD**

TOC: 7319451

light distribution curve

**TX084024**

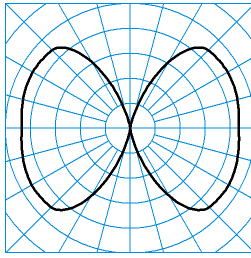
■ C0 - C180

UGR I = NODATA

UGR q = NODATA

DIN 5040: C11

UTE: 0,50 J + 0,50 T

**TX084023**

■ C0 - C180

UGR I = NODATA

UGR q = NODATA

DIN 5040: C11

UTE: 0,50 J + 0,50 T

FOCOS LED DE FUENTES Y JARDINES

## Foco LED Empotrable en Suelo 6W



### Parámetros técnicos

Ángulo de Apertura:	45º
Vida Útil:	30.000 Horas
Certificados:	CE & RoHS
Clase Energética:	A
Dimensiones de corte:	Ø143x104 mm
Dimensiones:	Ø160x118 mm
Protección IP:	IP67
Fuente Lumínica:	Cree
Uso:	Exterior
Material:	Acero Inoxidable
Potencia:	6 W
Frecuencia:	50-60 Hz
Número de LEDs:	6
Tensión:	220-240V AC
Luminosidad:	260 lm
Tipo de Lente:	Transparente
Protección IK:	IK10
Índice Rep. Cromática (CRI):	80
Garantía:	2 Años
Clase Aislamiento Eléctrico:	I
Puntos de luz:	1
Instalación:	Empotrable

### Descripción del producto

**El foco LED empotrable en suelo con 6W de potencia es muy utilizado como luz de cortesía y en la señalización de zonas de paso.**

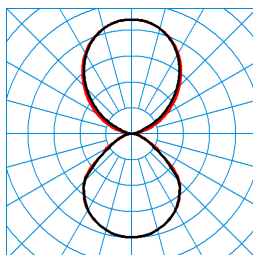
Su fuente lumínica CREE tiene un alto índice de reproducción cromática y el haz de luz emitida se distribuye en un ángulo de 45°. **La tensión de trabajo de este elemento de iluminación LED es de 220-240V por lo que no requiere ningún transformador** o fuente de alimentación.

Perfecto para iluminar y decorar con un toque original en lugares que requieran de materiales con una alta resistencia, como el acero inoxidable con el que está construido este foco LED empotrable en suelo de 6W. Además, **su IP67 lo hace perfecto para soportar las inclemencias del tiempo.**

Disfruta en EfectoLED de la mejor iluminación LED de exterior de la mano del foco LED empotrable en suelo con 6W de potencia que encontrarás en nuestra tienda online, como siempre al mejor precio.

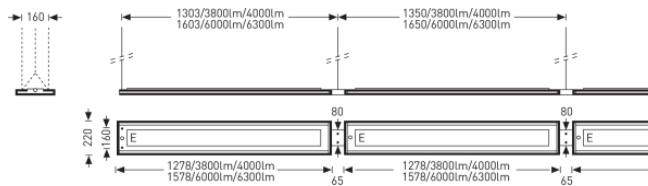
# Luceo H-L CDP LED3800-830 ET 03

TOC: 6283940



**TX052364**  
UGR I = 15,0  
UGR q = 14,5  
DIN 5040: C43  
UTE: 0,48 D + 0,52 T

■ C0 - C180  
■ C90 - C270



## Texto descriptivo

Luminaria suspendida en versión de línea continua. Con sistema LED integrado. Con una distribución directa e indirecta de las intensidades luminosas. Recubrimiento prismático y óptica microprismática CDP para la distribución de las intensidades luminosas del componente directo. Índice de deslumbramiento (EN 12464-1) unificado UGR < 16. Apta para el trabajo ante pantallas informáticas con una polaridad positiva y una luminancia mayor a 200 cd/m² según EN 12464-1 merced a la limitación de la luminancia a  $L = 3.000 \text{ cd/m}^2$  para un ángulo de irradiación superior a 65° de manera omnidireccional. Flujo luminoso de las luminarias 3800 lm, potencia conectada 30,00 W, rendimiento luminoso de la luminaria 127 lm/W. Color de luz color blanco cálido, temperatura del color (CCT) 3000 K, índice de reproducción cromática general (CRI)  $R_a > 80$ . Vida útil nominal media  $L_{80} (t_q 25^\circ\text{C}) = 50.000 \text{ h}$ . Cuerpo de luminaria de chapa de acero, lacado en polvo sin diluyente. De color gris plata. Con borde inferior continuo sin cortes. Dimensiones (L x A): 1286 mm x 220 mm. Grosor visible de 24 mm. Temperatura ambiental admisible de entre (ta):  $-20^\circ\text{C} - +25^\circ\text{C}$ . Clase de protección (EN 61140): I, grado de protección (DIN EN 60529): IP20, grado de la resistencia al impacto según IEC 62262: IK02/0,2 J, temperatura de prueba para el ensayo de hilo incandescente según IEC 60695-2-11:  $650^\circ\text{C}$ . Con 2 equipamientos electrónicos, conmutables La luminaria cumple con los requisitos fundamentales de las directivas de la UE y de la ley sobre la seguridad de los productos y lleva el marcado CE. Además, la luminaria dispone de la certificación ENEC otorgada por un organismo de auditoría independiente. Peso de 6,0 kg.

## Advertencia para el uso :

Los cables de conexión, los cabezales, los acoplamientos para línea continua, las suspensiones por cable de dos o cuatro puntos, así como el florón de techo de diseño deben pedirse por separado (véanse los accesorios).

## Accesorios disponibles

Material	Denominación
4603500	ZS/1000 susp.cable 4-puntos vp
4603600	ZS/2000 susp.cable 4-puntos vp
4603700	ZST/1000 Susp.c. Triangel vp
4603800	ZST/2000 Susp.c. Triangel vp
4601700	ZAA/01
4601800	ZAA/03

## Características del producto y datos característicos

<b>Áreas de aplicación</b>	iluminación representativa de las oficinas Locales comerciales Salas de exposiciones Bancos Salas de ventanillas
<b>Tipo de luminaria</b>	Luminaria suspendida en versión de línea continua.
<b>Tipos de montaje</b>	Suspensión
<b>Óptica de la luminaria</b>	Con una distribución directa e indirecta de las intensidades luminosas.
<b>Potencia conectada</b>	30 W
<b>Temperatura de color</b>	3.000 K
<b>Flujo luminoso nominal</b>	3.800 lm
<b>Rendimiento luminoso</b>	127 lm/W
<b>CEN flux code</b>	56 87 97 48 100 54 85 98 52
<b>Vida útil</b>	L80 (25 °C) = 50.000 h
<b>Índice de reproducción cromática</b>	80
<b>Tolerancia cromática</b>	3 SDCM
<b>Clase fotobiológica</b>	Grupo 0 - sin riesgo
<b>Color de la luminaria</b>	RAL9006 Aluminio blanco
<b>Cuerpo de luminaria</b>	Cuerpo de luminaria de chapa de acero, lacado en polvo sin diluyente.
<b>Especificación eléctrica</b>	Con 2 equipamientos electrónicos, conmutables
<b>Tipo de conexión</b>	Clema
<b>frecuencia nominal</b>	50/60 Hz
<b>tensión nominal</b>	230 - 240 V
<b>Grado de protección</b>	IP20
<b>Grado de protección hacia el local</b>	IP20
<b>Clase de protección</b>	I
<b>Resistencia al impacto (IK)</b>	IK02
<b>Resistencia del hilo incandescente</b>	650 °C
<b>Temperatura ambiente</b>	25 °C
<b>Longitud net</b>	1.286 mm
<b>Ancho-net</b>	220 mm
<b>Altura net</b>	24 mm
<b>Peso</b>	6,0 kg

## Luceo H-L CDP LED3800-830 ET 03

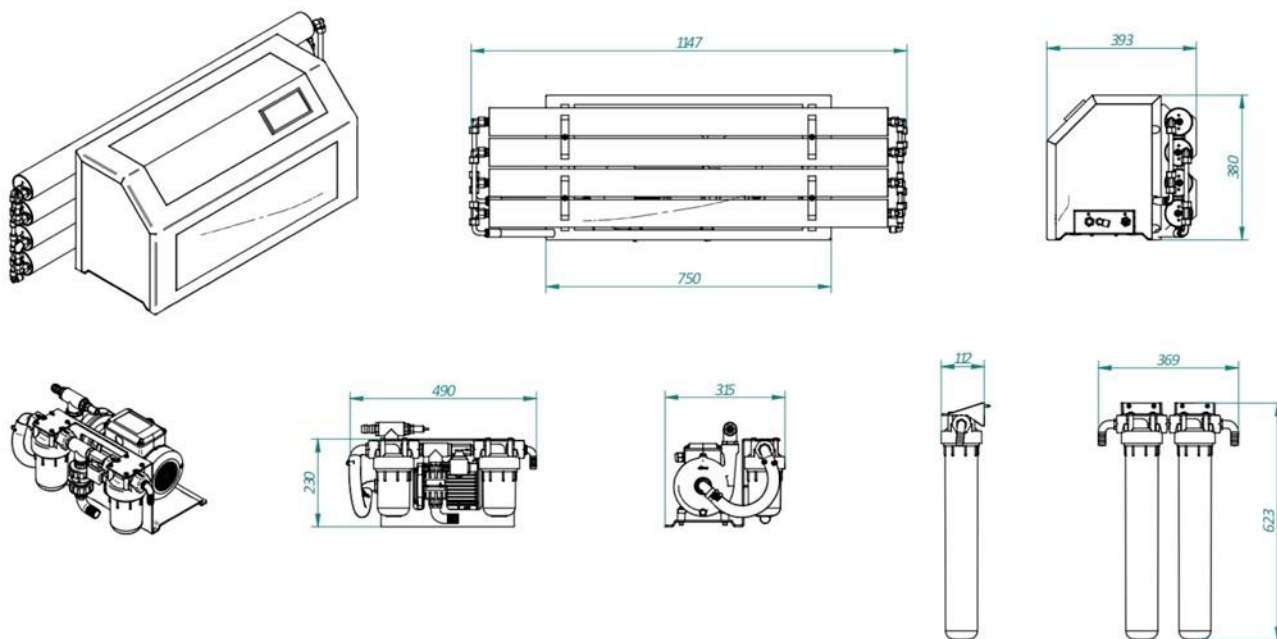
TOC: 6283940



4690700	Luceo ZDR/1/1200/01
4691500	Luceo ZZT/315/1000
4691600	Luceo ZZT/515/1000
4691700	ZAE/01 515
4691800	ZAE/03 515
4693200	Luceo ZKP 03
4979300	Luceo ZLK/3/03
5028600	Luceo ZKS/3/03
6304500	Luceo LED ZDV 315
6310400	Luceo LED ZKK/3/03
4894200	Luceo ZZT/315/2000
4894300	Luceo ZZT/515/2000



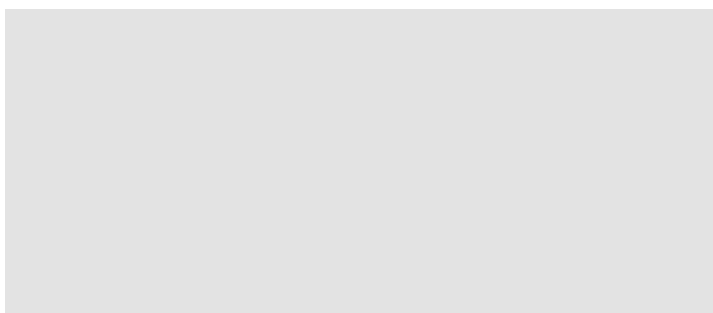
## specifications & dimensions



	A - 200	A - 300
Weight	68kg+12kg+2kg	75kg+12kg+2kg
Energy consumption	920w/h	1380w/h
Average Amp. consumption	4,2a/220v	4,3a/220v
Booster pump minimum inlet pressure	+0,05 bar	+0,05 bar
Booster pump outlet pressure	1 - 2 bar	1 - 2 bar
High pressure pump outlet pressure	45 - 60 bar	45 - 60 bar
Feed Flow	900 l/h	1200 l/h
Average effective production	200 l/h (+/- 10%)	300 l/h (+/- 10%)
Conversion	22%	25%
Rejected / permeated ratio	3,5 : 1	03:01
Osmotic membrane type	Fr-80-25/40 hF (3 membranes)	Fr-80-25/40 hF (4 membranes)



Autorized Dealer:



ECO-SYSTEMS WATERMAKERS S.L.

C/Horta, 22.08203 Sabadell, Barcelona (España)

Tel: +34 937 108 950 | Fax: +34 937 122 355

Email: [info@eco-sistemas.com](mailto:info@eco-sistemas.com)

[www.eco-sistemas.com](http://www.eco-sistemas.com)

# HWI-D620H-Z

Cámara IP 2 Megapixel Hikvision

1/3" Progressive Scan CMOS

Compresión H.265+ / H.265

Lente motorizada 2.8~12 mm

Autofocus

EXIR IR LEDs Alcance 30 m

WDR | 3DNR | BLC | IP67 | SD Slot



HikvisionHiWatch Series

Cámara IP

1/2.8" Progressive Scan CMOS

2 Megapixel (1920x1080)

Lente Motorizada varifocal 2.8~12 mm Autofocus

0 Lux

IR Alcance 30 m

H.265+/H.265/H.264+/H.264

Dual Stream

RJ-45 10/100 BaseT

PoE IEEE802.3af

Grabación en tarjeta SD

Impermeable IP67

IR CUT

WDR (120dB)

Interfaz WEB, CMS, Smartphone y NVR

Compatible con ONVIF

# Especificaciones

Marca	Hikvision
Gama	HiWatch Series
Sensor de imagen	1/2.8" Progressive Scan CMOS
Resolución máxima	2 Megapixel (1920x1080)
Tasa Main Stream	1080p / 720p (25 FPS)
Tasa Extra Stream	D1 / CIF (1 ~ 25 FPS)
Compresión	H.265+/H.265/H.264+/H.264
Bitrate	32 Kbps ~ 8 Mbps
Lente	2.8 mm ~ 12 mm Motorizada Autofocus
Iluminación mínima	Color 0.01 Lux @ F1.2   Color 0.018 Lux @ F1.6
Iluminación infrarroja	0 Lux / EXIR LEDs IR (30 m)
Mejoras de imagen	WDR (120dB), BLC, 3D-NR, AGC, Motion detection
Día / Noche	Filtro mecánico ICR removible
Alarmas	No dispone
Audio	No dispone
Interfaz de red	Ethernet 10/100 BaseT
Almacenamiento interno	Ranura para Tarjeta MicroSD, Max 128 GB
Acceso remoto	Navegador Web, App Smartphone IVMS 4500 y Software PC IVMS 4200
Interoperabilidad	ONVIF, PSIA, CGI, ISAPI
Alimentación	DC 12 V / 800 mA, PoE IEEE802.3af
Grado de protección	Impermeable IP67, antivandálica IK10
Material	Metal & Plástico
Temp. funcionamiento	-30° C ~ +50° C
Dimensiones	99.6 mm (Fo) x 141.2 (Ø) mm
Peso	830 g

# Proyector LED con sensor de movimiento 20W



## ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Alto	205mm
Ancho	181mm
Profundidad	59mm
Potencia (Watt)	20W
Voltaje	220-240V
Luminosidad (Lumens)	1600lm
Ángulo Luminoso	100º
Grado de estanqueidad	65
Uso exterior	Si
Certificados	CE, ROHS
Garantía	Según garantía legal

## DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO



### Proyector LED Slim 20W con Sensor de Movimiento

El **Foco LED Slim con sensor de movimiento** es un producto ideal para alumbrar zonas de forma automática, sin preocuparte del encendido. Está diseñado con formato Slim para su fácil instalación.

El **Proyector LED Slim 20W** con sensor de movimiento está fabricado con **aluminio de inyección** y contiene de un disipador de calor para ofrecer una alta calidad lumínica, además gracias a su alta IP dispone de gran resistencia en cuanto a humedad o golpes se refiere.

### Aplicaciones del Proyector LED Slim 20W

El Proyector LED Slim es un producto ideal para zonas de poca luminosidad, ya que al pasar por delante se activa el sensor de movimiento y esto provoca el encendido automático, por ello, lo podemos colocar en diferentes lugares en los cuales nos puede ayudar tener una mayor visibilidad.

Por ejemplo:

- Al principio de unas escaleras
- En la salida o entrada de una puerta
- En la salida del garaje

### Características Técnicas del Foco LED Slim 20W

- 20W
- 220-240V
- 1600Lm
- Ángulo de luminosidad: 100º
- Sensor movimiento
- IP65
- Driver Integrado

### También te puede interesar...

Disponemos de un amplia gama de **Proyectores LED Slim** con diferentes potencias como por ejemplo: el **Proyector LED Slim 30W** o el **Proyector LED Slim 150W**, entre otros.



## IMÁGENES DEL PRODUCTO

---





Microscopios industriales LV150N/LV150NL/LV150NA/LV100ND/LV100NDA

# ECLIPSE LV-N

Microscopios industriales





# Junto con una nueva óptica, ECLIPSE evoluciona hacia la próxima etapa junto con una nueva óptica.

Modularizados para satisfacer las exigencias de las aplicaciones de microscopios industriales en diversos campos de la industria, como dispositivos semiconductores, empaque, pantallas planas, componentes electrónicos, materiales y moldeo de precisión.

La serie ECLIPSE LV sigue evolucionando y ofrece diversas unidades de iluminación y bases seleccionables según el método de observación y el propósito.

Hay cuatro tipos disponibles –tipos motorizados y manuales, además de iluminación reflejada dedicada y combinación de iluminación reflejada/transmitida– para adaptarse a cualquier aplicación.



## Rendimiento óptico evolucionado

El sistema óptico CFI60 de Nikon, muy valorado por su exclusivo concepto de alta AN junto con larga distancia de trabajo, ha seguido evolucionando para lograr la cúspide en términos de distancia de trabajo, corrección de aberración cromática y peso reducido.

## Funcionamiento sencillo

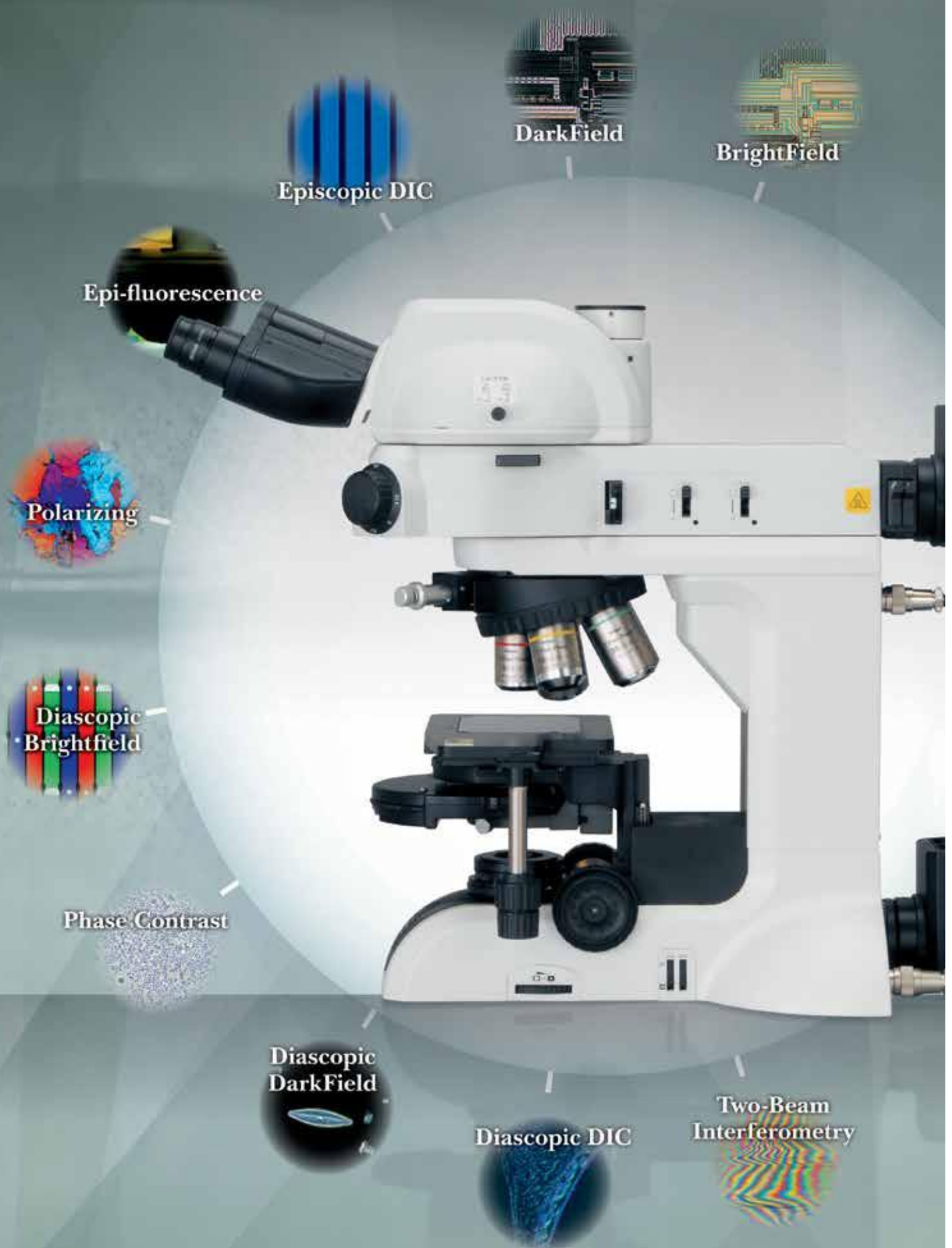
### Integración con cámara digital

Ahora es posible la detección de información del microscopio, por ejemplo de la lente objetivo, además de la operación con unidad motorizada gracias a la unidad de control digital, para aumentar la eficiencia de la observación y la captura de imágenes.

## Métodos de observación

### Diversos métodos de observación

Las combinaciones de una gama completa de accesorios expanden los métodos de observación disponibles cuando se utiliza iluminación transmitida, lo que permite adaptabilidad a una mayor diversidad de muestras. Todos los modelos permiten campo claro, campo oscuro, interferencia diferencial, fluorescencia, polarización e interferometría con doble haz, mientras el LV100ND y el LV100NDA también permiten observación de contraste de fases, polarizante, de campo oscuro e interferencia diferencial tipo transmisión.



# Serie LV-N

## Características del modelo



**LV150N**

**LV150NL**



**LV150NA**

### Modelos con iluminación reflejada dedicada

#### Tipo de microscopio

Manual

Motorizado  
(Revólver)

#### Métodos de observación compatibles

		Campo claro	Campo oscuro	DIC	Fluorescencia	Polarización	Interferometría con doble haz
LV150/ LV150NA	Episcópico	○	○	○	○	○	○
	Episcópico (LED)	○	○	○	—	△	—
LV150NL	Episcópico	○	—	○	—	○	○

\* Utilice una lente objetivo adecuada para el método de observación.

△ : solo observación de polarización simple

#### Platinas compatibles

- Platina LV-S32 3x2 (recorrido: 75 x 50 mm con placa de cristal)  
\*Puede equiparse con placa LV-S32SPL ESD
- Platina LV-S6 6x6 (Stroke: 150 x 150 mm)  
\*Puede equiparse con soporte de oblea LV-S6WH/placa LV-S6PL ESD
- Platina giratoria LV-SRP P
- Platina P-GS2 G 2 (se utiliza con adaptador de platina LV-SAD)

#### Integración con cámara digital Digital Sight

#### DS-L4 (Unidad de control independiente)

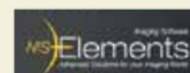
- Detección de información de la lente objetivo (cuando se utiliza en combinación con revólver inteligente LV-NU5I y LV-INAD)

- Control y detección de información de la lente objetivo

#### DS-Ri2 o DS-Fi3 + NIS-Elements (Unidad de control basada en PC + software de captura de imágenes)

- Detección de información de la lente objetivo (cuando se utiliza en combinación con revólver inteligente LV-NU5I y LV-INAD)

- Control y detección de información de la lente objetivo







**LV100ND**



**LV100NDA**

**Modelos con combinación de iluminación reflejada/transmitida**

**Manual**

**Motorizado**

(Revólver/intensidad de luz/tope de apertura/selector de método de observación)

		Campo claro	Campo oscuro	DIC	Fluorescencia	Polarización	Interferometría con doble haz	Contraste de fases
LV100ND/ LV100DA-U	Episcópico	○	○	○	○	○	○	—
	Episcópico (LED)	○	○	○	—	△	—	—
	Diascópico	○	○	○	—	○	—	○

\* Utilice una lente objetivo adecuada para el método de observación.

△: solo observación de polarización simple

- Platina LV-S32 3x2 (recorrido: 75 x 50 mm con placa de cristal)  
\*Puede equiparse con soporte de cristal de laminilla LV-S32SGH
- Platina LV-S64 6x4 (recorrido: 150 x 100 mm con placa de cristal)
- Platina giratoria LV-SRP P
- Platina P-GS2 G 2 (se utiliza con adaptador de platina LV-SAD)
- Platina de cerámica giratoria con mando derecho NIU-CSRR2 Ni-U (recorrido: 78 x 54 mm)
- Platina con mando derecho C-SR2S (recorrido: 78 x 54 mm: se utiliza con adaptador de platina LV-SAD)

**DS-L4** (Unidad de control independiente)

- Detección de información de la lente objetivo (cuando se utiliza en combinación con revólver inteligente LV-NU5I y LV-INAD)

- Detección de información de la lente objetivo, intensidad de luz, tope de apertura y método de observación (campo claro/campo oscuro/fluorescencia)

**DS-Ri2 or DS-Fi3 + NIS-Elements** (Microscope camera + imaging software)

- Detección de información de la lente objetivo (cuando se utiliza en combinación con revólver inteligente LV-NU5I y LV-INAD)

- Control y detección de información de la lente objetivo, intensidad de luz, tope de apertura y método de observación (campo claro/campo oscuro/fluorescencia)



## Rendimiento óptico evolucionado

El sistema óptico CFI60 de Nikon, muy valorado por su exclusivo concepto de alta AN junto con larga distancia de trabajo, ha seguido evolucionando para lograr la cúspide en términos de distancia de trabajo, corrección de aberración cromática y peso reducido.

### Lentes T Plan & TU fluorita Plan & TU apocromáticas Plan

### Lentes objetivo Plan estándar

Lentes objetivo estándar

## Serie TU fluorita Plan

EPI/BD 5/10/20/50/100 aumentos

Estas lentes objetivo estándar universales permiten observación de campo claro, campo oscuro, polarización simple, interferencia diferencial y epifluorescencia, en una sola lente. Las nuevas lentes semi-apocromáticas combinan un rendimiento superior en aberración cromática con larga distancia de trabajo en todos los aumentos para adaptarse a cualquier aplicación.



\* Se muestra la lente objetivo de observación de campo claro (EPI).

Modelo	Aumento	AN	Distancia de trabajo (mm)
TU fluorita Plan EPI (tipo campo claro)	5 aumentos	0.15	23,5
	10 aumentos	0.30	17,5
	20 aumentos	0.45	4,5
	50 aumentos	0.80	1,0
	100 aumentos	0.90	1,0
TU fluorita Plan BD (tipo campo claro/oscuro)	* 5 aumentos	0.15	18,0
	* 10 aumentos	0.30	15,0
	* 20 aumentos	0.45	4,5
	50 aumentos	0.80	1,0
	100 aumentos	0.90	1,0

\* Con lente ojo de mosca.



Lentes objetivo de bajo aumento

## T Plan EPI

EPI 1/2.5 aumentos

Estas lentes objetivo de bajo aumento permiten observación clara con un analizador/polarizador convencional, además de observación orientada a la operabilidad sin necesidad de analizador/polarizador.



Modelo	Aumento	AN	Distancia de trabajo (mm)
T Plan EPI (tipo campo claro)	1 aumento	0.03	3,8
	2,5 aumentos	0.075	6,5

Lentes objetivo apocromáticas

## Serie TU apocromática Plan

EPI/BD 50/100/150 aumentos

Gracias al uso de lentes de fase de Fresnel, estas lentes objetivo alcanzan distancias de operación significativamente mayores además de mantener el rendimiento superior en aberración cromática de las lentes apocromáticas. Se ha incorporado una lente de 50 aumentos a la línea.



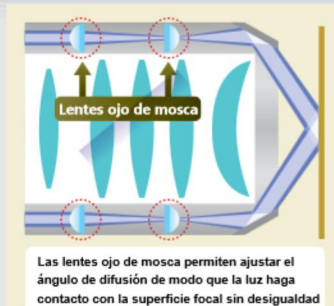
\* Se muestra la lente objetivo de observación de campo claro (EPI).

Modelo	Aumento	AN	Distancia de trabajo (mm)
TU apocromática Plan EPI (tipo campo claro)	50 aumentos	0.8	2,0
	100 aumentos	0.9	2,0
	150 aumentos	0.9	1,5
TU apocromática Plan BD (tipo campo claro/oscuro)	50 aumentos	0.8	2,0
	100 aumentos	0.9	2,0
	150 aumentos	0.9	1,5

## Iluminación de Campo Oscuro

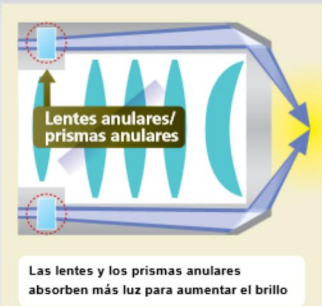
### Lente ojo de mosca

Ya que las lentes de bajo aumento normalmente tienen un campo de visión real amplio, es difícil lograr iluminación brillante sin desigualdad. Mediante el uso de lentes ojo de mosca, el sistema óptico CFI60-2 ofrece iluminación de campo oscuro brillante a través del campo de visión, con poca desigualdad.



### Nuevo sistema de iluminación de campo oscuro

A medida que mejora la AN y la D.T., aumenta el diámetro exterior de las lentes objetivo. Sin embargo, ya que el ancho de la luz incidente es fijo, la intensidad de la luz disminuye con sistemas de iluminación convencionales. El nuevo sistema de iluminación cuenta con lentes o prismas anulares para aumentar la captura de luz y lograr iluminación de campo oscuro brillante sin deterioro.





## Lentes TU Plan ELWD & T Plan SLWD

Lentes objetivo con distancia de trabajo larga/súper larga

Lentes objetivo con larga distancia de trabajo

### Serie TU Plan ELWD

EPI/BD 20/50/100 aumentos

Mediante del uso de lentes de fase de Fresnel, estas lentes objetivo permiten prolongar las distancias de trabajo, además de ofrecer corrección de aberración cromática de mayor nivel que las lentes objetivo convencionales. Así se aumenta aún más la operabilidad en muestras con diferencias de nivel.



\* Se muestra la lente objetivo de observación de campo claro (EPI).

Modelo	Aumento	AN	Distancia de trabajo (mm)
TU Plan EPI ELWD (tipo campo claro)	20 aumentos	0.4	19.0
	50 aumentos	0.6	11.0
	100 aumentos	0.8	4.5
TU Plan BD ELWD (tipo campo claro/oscuro)	* 20 aumentos	0.4	19.0
	* 50 aumentos	0.6	11.0
	* 100 aumentos	0.8	4.5

\* Con nuevo sistema de iluminación de campo oscuro.

Lentes objetivo con distancia de trabajo súper larga

### T Plan EPI SLWD

EPI 10/20/50/100 aumentos

Con mejor aberración cromática además de seguir adelante con el concepto de priorizar la distancia de trabajo, la serie T Plan SLWD de lentes objetivo semi-apocromáticas con distancia de trabajo súper larga logran la mejor distancia de trabajo en su clase. La nueva adición de una lente SLWD de 10 aumentos (D.T.: 37 mm) a la línea permite el uso con una mayor diversidad de muestras.



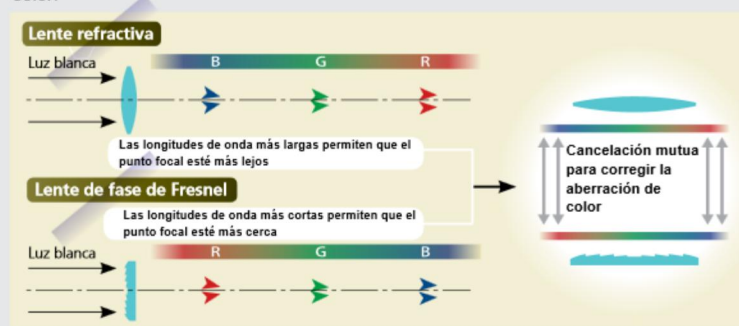
\* Programado para salir a la venta en enero de 2013.

Modelo	Aumento	AN	Distancia de trabajo (mm)
T Plan EPI SLWD (tipo campo claro)	10 aumentos	0.2	37.0
	20 aumentos	0.3	30.0
	50 aumentos	0.4	22.0
	100 aumentos	0.6	10.0

## Fase de Fresnel

### Corrección de aberración de color

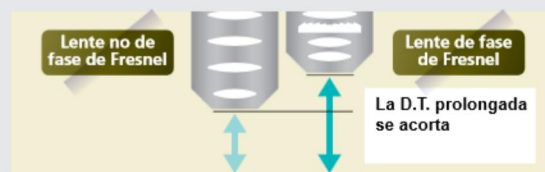
Las lentes convencionales se basan en la refracción de la luz para formar una imagen. Ya que la intensidad de la refracción varía según el color (longitud de onda), la imagen se forma en este orden: azul, verde y rojo, comenzando por la luz más próxima a la lente. En contraste, una lente de fase de Fresnel forma una imagen con la difracción de la luz en este orden: rojo, verde y azul, comenzando por la luz más próxima a la lente; así genera una propiedad opuesta a la de la refracción. La combinación de estas dos lentes anula la aberración de color de cada cual y permite generar una imagen con escasa aberración de color.



Corrección de aberración de color y mayor distancia de trabajo gracias a las lentes de fase de Fresnel

### Lograr una larga distancia de trabajo

Mediante del uso de lentes de fase de Fresnel, la corrección de la aberración de color es posible incluso con distancias cortas entre lentes, lo que permite una distancia de trabajo mayor a la de las lentes convencionales.



## Otras lentes objetivo

Lentes objetivo con corrección de grosor del cristal

### CFI L Plan EPI CR

20/50/100 aumentos

Estas lentes objetivo están equipadas con funciones correctivas que permiten la observación de alto contraste de células o patrones, sin interferencia del sustrato de cristal.



Modelo	Aumento	AN	Distancia de trabajo (mm)
CFI L Plan EPI CR (tipo campo claro)	20x CR	0.45	10.90 - 10.00
	50x CR	0.70	3.90 - 3.00
	100x CRA	0.85	1.20 - 0.85
	100x CRB	0.85	1.30 - 0.95

Lentes objetivo para interferometría/para interferometría con doble haz

### CF IC EPI Plan TI/DI

DI 10/20/50/100 aumentos TI 2.5/5 aumentos

Estas lentes Michelson (TI) y Mirau (DI) para interferometría con doble haz permiten la inspección y medición de diferencias de nivel finas sin contacto con la muestra.



Modelo	Aumento	AN	Distancia de trabajo (mm)
CF IC EPI Plan TI (para interferometría)	2.5xA	0.075	10.30
	5xA	0.130	9.30
CF IC EPI Plan DI (para interferometría con doble haz)	10xA	0.30	7.40
	20xA	0.40	4.70
	50xA	0.55	3.40
	100 aumentos	0.70	2.00

# Funcionamiento Sencillo

## Integración con cámara digital

### LV150N / LV100ND / LV150NA

#### Control y detección de información de la lente objetivo

Mediante la combinación del revólver inteligente LV-NU5I y el nuevo adaptador de revólver con detección de aumento LV-INAD, los microscopios LV150N/LV100ND permiten contar con información sobre la lente objetivo que se está utilizando mediante la unidad de control de cámara. La información se convierte automáticamente en datos de calibración adecuados al momento de cambiar el aumento.

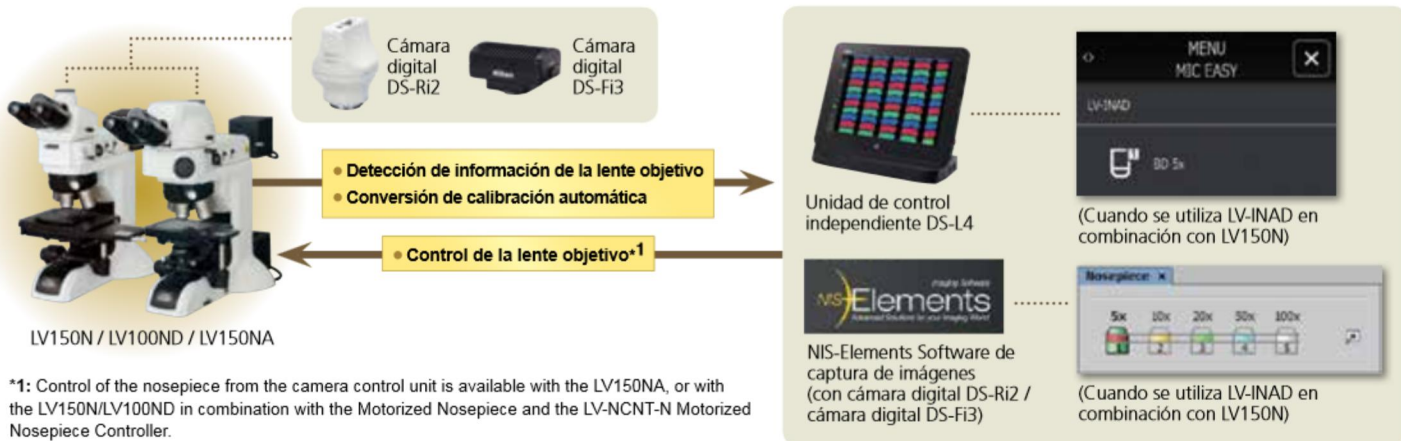
Además de detectar información de la lente objetivo, el LV150NA permite detectar esta información y cambiar de lente objetivo mediante la unidad de control de cámara.



LV-NU5I  
Revólver inteligente



LV-INAD  
Adaptador de revólver



\*1: Control of the nosepiece from the camera control unit is available with the LV150NA, or with the LV150N/LV100ND in combination with the Motorized Nosepiece and the LV-NCNT-N Motorized Nosepiece Controller.

### LV100NDA

#### Control y detección de información del microscopio

El LV100NDA-U permite control y detección de información\*2 de lentes objetivo, intensidad de la luz, tope de apertura y método de observación (campo claro/campo oscuro/fluorescencia) mediante la unidad de control de cámara, lo que permite optimizar las condiciones fundamentales para la adquisición de imágenes.



\*2: Solo detección de información, cuando está conectada la unidad de control DS-L3. El control de lente objetivo, intensidad de la luz, tope de apertura y método de observación (campo claro/campo oscuro/fluorescencia) es posible con la unidad de control DS-U3 (+NIS-Elements) conectada.

Tabla de compatibilidad de control y detección de información por modelo

	LV150N/LV100ND (Cuando se utiliza LV-NU5I y LV-INAD)		LV150NA		LV100NDA (Cuando se utiliza iluminador LV-UEP2A)	
	DS-L4	DS-Ri2/DS-Fi3 (+NIS-Elements)	DS-L4	DS-Ri2/DS-Fi3 (+NIS-Elements)	DS-L4	DS-Ri2/DS-Fi3 (+NIS-Elements)
Lente objetivo	○	○	◎	◎	○	◎
Iluminación reflejada (encendido/apagado, ajuste de intensidad de la luz) <sup>*Cuando se utiliza LV-LH50PC</sup>	—	—	—	—	○	◎
Iluminación transmitida (encendido/apagado, ajuste de intensidad de la luz)	—	—	—	—	○	◎
Tope de apertura	—	—	—	—	○	◎
Selector de método de observación (campo claro/campo oscuro/fluorescencia)	—	—	—	—	○	◎

\* NIS-Elements F (paquete gratuito) no es compatible con control y detección de información. Utilice NIS-Elements D/Br/Ar.



# Unidades de control

## Sistema de cámara digital para microscopía "Digital Sight"

### Microscope Camera

#### Stand-Alone Model

## DS-Ri2

Con capacidad para expresar imágenes en su estado natural, la DS-Ri2 ofrece alta resolución, reproducción de color y velocidad de fotogramas. El modelo independiente permite adquisición de imágenes de alta definición sin unidad de control.



#### Velocidad de fotogramas

45fps (1636x1088)

#### Píxeles máx. registrables

4908x3264

### Microscope Camera

## DS-Fi3

Cuenta con alta resolución, alta sensibilidad/bajo ruido y visualización en vivo de alta velocidad en una sola cámara.



30fps (1440x1024)

2880x2048

### Unidad de control independiente

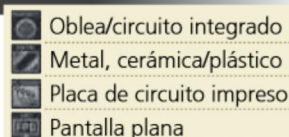
## DS-L4

La DS-F13 puede conectarse a la unidad de control tipo tablet DS-L4, lo que elimina la necesidad y los requisitos de espacio de una PC de escritorio. La DS-L4 cuenta con un gran número de funciones incorporadas de seguridad para conexión.



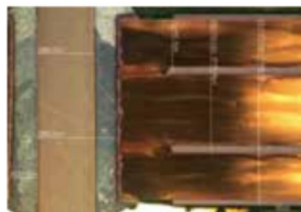
#### Modo de escena

Los parámetros óptimos para la captura de imágenes de cada tipo de muestra y método de observación se pueden ajustar fácilmente mediante iconos.



#### Amplia variedad de herramientas

Permite medir con facilidad directamente en las imágenes, con entrada de líneas y comentarios. Las mediciones pueden escribirse y guardarse con la imagen y pueden generarse datos.



Medición (distancia de 2 puntos)

#### Función de medición



#### Funciones de comparación de tamaño y posición



#### Funciones de dibujo



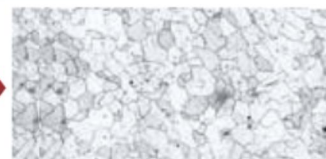
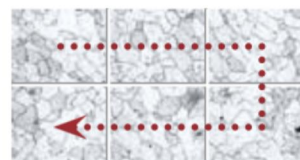
### Software de captura de imágenes

## NIS-Elements



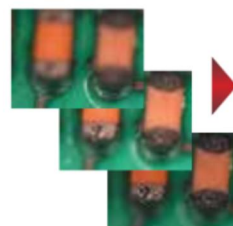
#### Imagen grande

Permite unir imágenes de varios campos de visión durante la toma para crear una imagen con campo de visión amplio. También pueden unirse imágenes ya adquiridas.



#### EDF (Extended Depth of Focus)

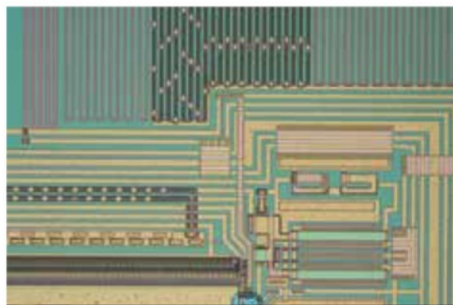
Cree una sola imagen con enfoque completo a partir de imágenes con enfoque diferente.



\* Consulte el catálogo "Digital Camera Digital Sight Series for Microscopes" para obtener detalles sobre las características de Digital Sight.

# Métodos de observación

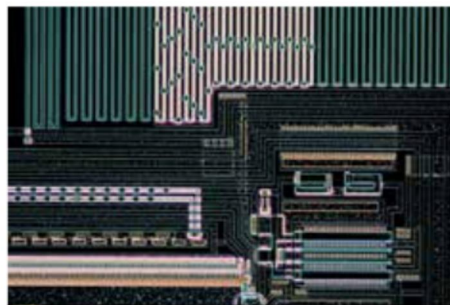
Compatible con una amplia gama de métodos de observación: campo claro, campo oscuro, polarización, interferencia diferencial, epifluorescencia e interferometría de doble haz.



**Campo claro**  
LV150N LV150NA LV100ND LV100DA-U

## Semiconductores (oblas de circuitos integrados)

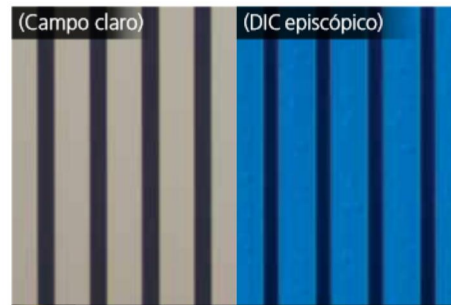
De sus lentes objetivo a sus sistemas de iluminación, la serie LV-N ofrece medidas integrales contra los destellos y entrega imágenes brillantes de alto contraste.



**Campo oscuro**  
LV150N LV150NA LV100ND LV100DA-U

## Semiconductores (oblas de circuitos integrados)

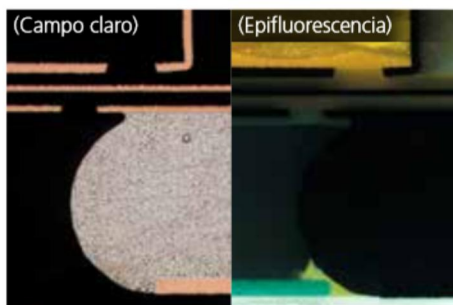
El uso de los conceptos exclusivos de Nikon en el sistema de iluminación de campo oscuro de la lente objetivo permite observación luminosa en campo oscuro y ofrece alta sensibilidad en detección de diferencias de nivel y defectos de las muestras.



**DIC episcópico**  
LV150N LV150NA LV100ND LV100DA-U

## Sustrato

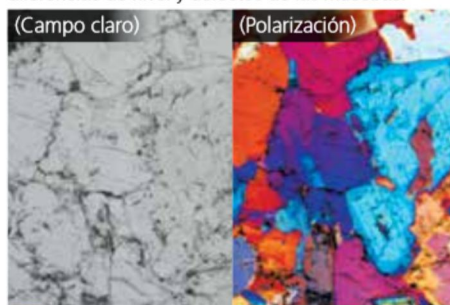
Cursores DIC estándar y de alto contraste disponibles para adaptarse a las muestras. La serie LV-N es eficaz en aplicaciones como observación de diferencias de nivel minúsculas en moldeado de precisión y dispositivos.



**Epifluorescencia**  
LV150N LV150NA LV100ND LV100DA-U

## Sustrato (soldadura)

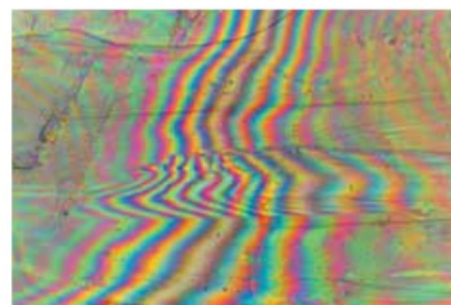
La serie LV-N demuestra superioridad en observación de muestras con propiedades fluorescentes, como diodos orgánicos emisores de luz o sustratos montados.



**Polarización**  
LV150N LV150NA LV100ND LV100DA-U

## Minerales

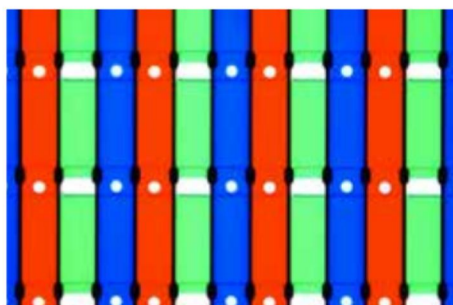
La serie LV-N es eficaz en observación de muestras con propiedades birrefringentes, como cristales líquidos o plásticos/cristales con distorsión.



**Interferometría con doble haz**  
LV150N LV150NA LV100ND LV100DA-U

## Mica

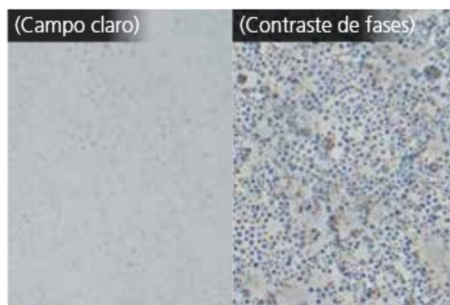
La serie LV-N permite interferometría de doble haz de reflexión de Michelson (TI) y Mirau (DI). Cuando se utiliza con oculares micrométricos, es posible detectar diferencias de nivel minúsculas y medirlas sin contacto con la muestra.



**Campo claro diascópico**  
LV150N LV150NA LV100ND LV100DA-U

## LCD (filtro de color)

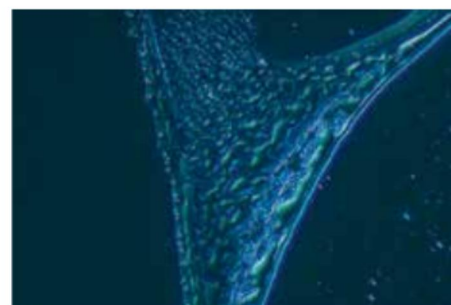
La serie LV-N es eficaz en observación de muestras con transparencia, como componentes ópticos, pantallas planas y muestras de cristal de laminilla. Cuando se utiliza en conjunto con analizadores y el polarizador simple C-SP, es posible la observación de polarización simple transmitida.



**Contraste de fases**  
LV150N LV150NA LV100ND LV100DA-U

## Emulsión

Las muestras incoloras y transparentes pueden visualizarse mediante contraste claro/oscuro y el uso de difracción e interferencia, dos propiedades de la luz.



**DIC diascópico**  
LV150N LV150NA LV100ND LV100DA-U

## Nanopartículas (plata)

Las muestras incoloras y transparentes pueden observarse en tres dimensiones mediante polarización para crear interferencia entre dos haces de luz.









# Especificaciones

	LV150N	LV150NA	LV150NL
Unidad de base	<p>Altura máxima de la muestra: 38 mm (cuando se utiliza con revólver LVNU5AI U5AI y platina LV-S32 3x2 /LV-S64 6x4)</p> <p>* 73 mm cuando se utiliza con elevador de una columna</p> <p>Fuente de alimentación interna de 12V-50W para las perillas de ajuste fino, grueso y regulación de la luz</p> <p>Izquierda: ajuste fino y grueso/derecha: ajuste fino, recorrido de 40 mm</p> <p>Ajuste grueso: 14 mm/vuelta (con ajuste de par, mecanismo de reenfoque)</p> <p>Ajuste fino: 0,1 mm/vuelta (1 µm/graduación)</p> <p>Intervalos del orificio de montaje de platina: 70 x 94 (fijado con tornillo 4-M4)</p>		<p>Altura máxima de la muestra: 38 mm (cuando se utiliza con platina LV-S32 3x2)</p> <p>* 73 mm cuando se utiliza con elevador de una columna</p> <p>Fuente de alimentación de iluminación LED interna, perillas de ajuste grueso y fino</p> <p>Izquierda: ajuste grueso y fino/derecha: ajuste fino, recorrido de 40 mm</p> <p>Ajuste grueso: 14 mm/vuelta (con ajuste de par, mecanismo de reenfoque)</p> <p>Ajuste fino: 0,1 mm/vuelta (1 µm/graduación)</p> <p>Intervalos del orificio de montaje de platina: 70 x 94 (fijado con tornillo 4-M4)</p>
Revólveres	<p>Revólver séxtuple ESD C-N6 ESD</p> <p>Revólver quintuple universal ESD LV-NU5</p> <p>Revólver quintuple ESD LV-NBD5 BD</p> <p>Revólver quintuple universal inteligente ESD LV-NU5I</p>	<p>Revólver quintuple universal motorizado ESD LV-NU5A</p> <p>Revólver quintuple universal motorizado ESD LV-NU5AC</p>	<p>Revólver séxtuple ESD C-N6 ESD</p> <p>Revólver quintuple universal ESD LV-NU5</p>
Iluminador episcópico	<p><b>LV-UEPI-N</b></p> <p>Caseta para lámpara precentrada 12V-50W LV-LH50PC</p> <p>Interruptor de campo claro/oscuro y tope de apertura conectado (centrable), diafragma de campo (centrable)</p> <p>Acepta filtro de ø 25 mm (NCB11, ND16, ND4), polarizador/analizador, placa λ, compensador de luz de excitación; equipado con exterminador de ruido</p> <p><b>LV-UEPI2</b></p> <p>Caseta para lámpara precentrada 12V-50W LV-LH50PC</p> <p>Iluminador por fibra precentrado HG: C-HGFIE (con ajuste de luz) *optativo</p> <p>Interruptor de campo claro/oscuro y tope de apertura conectado (centrable), diafragma de campo (centrable), función de cambio de elemento óptico automatizado adaptada al interruptor de epifluorescencia, campo oscuro y campo claro</p> <p>Acepta filtro de ø 25 mm (NCB11, ND16, ND4), polarizador/analizador, placa λ, compensador de luz de excitación; equipado con exterminador de ruido</p>		<p>LED blanco 1,1 W</p> <p>Acepta polarizador/analizador</p>
Cabezales oculares	<p>Cabezal trinocular ESD LV-TI3 (imagen vertical, campo de visión: 22/25)</p> <p>Cabezal trinocular inclinable LV-TT2 TT2 (imagen vertical, campo de visión: 22/25)</p> <p>Cabezal binocular C-TB (imagen invertida, campo de visión: 22)</p> <p>Cabezal binocular P-TB (imagen invertida, campo de visión: 22)</p> <p>Cabezal trinocular P-TT2 (imagen invertida, campo de visión: 22)</p>		<p>Cabezal trinocular ESD LV-TI3 (imagen vertical, campo de visión: 22/25)</p> <p>Cabezal binocular C-TB (imagen invertida, campo de visión: 22)</p> <p>Cabezal binocular P-TB (imagen invertida, campo de visión: 22)</p> <p>Cabezal trinocular P-TT2 (imagen invertida, campo de visión: 22)</p>
Platinas	<p>Platina LV-S32 3x2 (recorrido: 75 x 50 mm con placa de cristal) compatible con ESD</p> <p>Platina LV-S64 6x4 (recorrido: 150 x 100 mm con placa de cristal) compatible con ESD</p> <p>Platina LV-S6 6x6 (recorrido: 150 x 150 mm) compatible con ESD</p>		<p>Platina LV-S32 3x2 (recorrido: 75 x 50 mm con placa de cristal)</p> <p>Compatible con ESD</p> <p>Platina LV-S6 6x6 (recorrido: 150 x 150 mm) compatible con ESD</p>
Revólveres	Serie CFI		
Lentes objetivo	Microscopio industrial, sistema óptico CFI60-2/CFI60 Serie de lentes objetivo: combinaciones según el método		
Rendimiento ESD	1.000 a 10 V, dentro de 0,2 seg. (excluidos ciertos accesorios)		
Consumo de energía	1,2 A/75 W		0,1 A/3 W
Peso	Aprox. 8,6 kg	Aprox. 8,7 kg	Aprox. 8,6 kg

	LV100ND	LV100DA
Unidad de base	<p>Altura máxima de la muestra: 38 mm (cuando se utiliza con revólver LVNU5AI U5AI y platina LV-S32 3x2 /LV-S64 6x4)</p> <p>Fuente de alimentación interna de 12V-50W para las perillas de ajuste fino, grueso y regulación de la luz</p> <p>Izquierda: ajuste fino y grueso/derecha: ajuste fino, recorrido de 40 mm</p> <p>Ajuste grueso: 14 mm/vuelta (con ajuste de par, mecanismo de reenfoque)</p> <p>Ajuste fino: 0,1 mm/vuelta (1 µm/graduación)</p>	<p>Altura máxima de la muestra: 33 mm (cuando se utiliza con revólver LVNU5AI U5AI y platina LV-S32 3x2 /LV-S64 6x4)</p> <p>Fuente de alimentación interna de 12V-50W para las perillas de ajuste fino, grueso y regulación de la luz</p> <p>Izquierda: ajuste grueso y fino/derecha: ajuste fino, recorrido de 40 mm</p> <p>Ajuste grueso: 14 mm/vuelta (con ajuste de par, mecanismo de reenfoque)</p> <p>Ajuste fino: 0,1 mm/vuelta (1 µm/graduación)</p>
Revólveres	<p>Revólver séxtuple ESD C-N6 ESD, Revólver quintuple universal ESD LV-NU5</p> <p>Revólver quintuple ESD LV-NBD5 BD, Revólver quintuple universal inteligente ESD LV-NU5I</p> <p>Revólver DIC séxtuple D-ND6</p>	<p>Revólver quintuple universal motorizado LV-NU5AI</p> <p>(Revólver universal motorizado de 5 orificios de alta durabilidad)</p>
Iluminadores episcópicos	<p><b>LV-UEPI-N</b></p> <p>Caseta para lámpara precentrada 12V-50W LV-LH50PC</p> <p>Interruptor de campo claro/oscuro y tope de apertura conectado (centrable), diafragma de campo (centrable), acepta filtro de ø 25 mm (NCB11, ND16, ND4), polarizador/analizador; equipado con exterminador de ruido</p> <p><b>LV-UEPI2</b></p> <p>Caseta para lámpara precentrada 12V-50W LV-LH50PC</p> <p>Iluminador por fibra precentrado HG: C-HGFIE (con ajuste de luz) *optativo</p> <p>Interruptor de campo claro/oscuro y tope de apertura conectado (centrable), diafragma de campo (centrable), función de cambio de elemento óptico automatizado adaptada al interruptor de epifluorescencia, campo oscuro y campo claro</p> <p>Acepta filtro de ø 25 mm (NCB11, ND16, ND4), polarizador/analizador, placa λ, compensador de luz de excitación; equipado con exterminador de ruido</p>	<p><b>LV-UEPI2A</b></p> <p>Caseta para lámpara precentrada 12V-50W LV-LH50PC</p> <p>Iluminador por fibra precentrado HG: C-HGFIE (con ajuste de luz: controlado por PC) *optativo</p> <p>Operación motorizada y control de torreta de selección de iluminación</p> <p>Tope de apertura motorizado conectado a selector de campo claro/oscuro (optimización automática adaptada a la lente objetivo), diafragma de campo (centrable)</p> <p>Acepta filtro de ø 25 mm (NCB11, ND16, ND4), polarizador/analizador, placa λ, compensador de luz de excitación; equipado con exterminador de ruido</p>
Iluminador diascópico	<p>Caseta para lámpara precentrada 12V-50W LV-LH50PC (sistema óptico de ojo de mosca)</p> <p>Apertura interna, diafragma de campo, filtro (ND8, NCB11); interruptor selector de luz transmitida/reflejada; 12V-100W también disponible (optativo)</p>	
Cabezales oculares	<p>Cabezal trinocular ESD LV-TI3 (imagen vertical, campo de visión: 22/25), cabezal trinocular inclinable LV-TT2 TT2 (imagen vertical, campo de visión: 22/25), cabezal binocular P-TB (imagen invertida, campo de visión: 22), cabezal trinocular P-TT2 (imagen invertida, campo de visión: 22)</p>	
Platinas	<p>Platina LV-S32 3x2 (recorrido: 75 x 50 mm con placa de cristal)/soporte de cristal de laminilla LV-S32SGH</p> <p>Platina LV-S64 6x4 (recorrido: 150 x 100 mm con placa de cristal), platina giratoria LV-SRP P/Platina giratoria P-GS2: se utiliza con adaptador de platina LV-SAD</p> <p>Platina de cerámica giratoria con mando derecho NIU-CSRR2 NIU (recorrido: 78 x 54 mm), platina con mando derecho C-SR2S (recorrido: 78 x 54 mm: se utiliza con adaptador de platina LV-SAD)</p>	
Condensadores	<p>Condensador acromático de distancia larga de trabajo (campo claro), condensador seco LV-CUD U (contraste de fases, DIC diascópico, campo oscuro), condensador acromático deslizable de 2-100 aumentos (campo claro), condensador seco de campo oscuro (campo oscuro) y otros</p>	
Revólveres	Serie CFI	
Lentes objetivo	Microscopio industrial, sistema óptico CFI60-2/CFI60 Serie de lentes objetivo: combinaciones según el método	
Rendimiento ESD	1000 a 10 V, dentro de 0,2 seg. (excluidos ciertos accesorios)	
Consumo de energía	1,2 A/75 W	
Peso	Aprox. 9,5 kg	
		1,2 A/90 W
		Aprox. 10 kg

# Especificaciones de lentes

	Tipo	Modelo	Aumento	Código de producto	AN	Distancia de trabajo (mm)
CF <sub>60-2</sub>	Campo claro	T Plan EPI Plan (semi-apocromática)	1 aumento	MUE12010	0.03	3,8
			2.5 aumentos	MUE12030	0.075	6,5
		TU fluorita Plan EPI Fluorita Plan universal (semi-apocromática)	5 aumentos	MUE12050	0.15	23,5
			10 aumentos	MUE12100	0.3	17,5
			20 aumentos	MUE12200	0.45	4,5
			50 aumentos	MUE12500	0.8	1,0
			100 aumentos	MUE12900	0.9	1,0
		TU apocromática Plan EPI Apocromática Plan universal (apocromática) 	50 aumentos	MUC11500	0.8	2,0
			100 aumentos	MUC11900	0.9	2,0
			150 aumentos	MUC11150	0.9	1,5
	Polarización	TU fluorita Plan EPI P Fluorita Plan universal de polarización (semi-apocromática)	5 aumentos	MUE13050	0.15	23,5
			10 aumentos	MUE13100	0.3	17,5
			20 aumentos	MUE13200	0.45	4,5
			50 aumentos	MUE13500	0.8	1,0
			100 aumentos	MUE13900	0.9	1,0
	Campo claro Larga distancia de trabajo	TU Plan EPI ELWD Plan universal con larga distancia de trabajo (semi-apocromática) 	20 aumentos	MUE21200	0.4	19,0
			50 aumentos	MUE21500	0.6	11,0
			100 aumentos	MUE21900	0.8	4,5
	Campo claro Distancia de trabajo súper larga	T Plan EPI SLWD Plan con distancia de trabajo súper larga (semi-apocromática) 	10 aumentos	MUE31100	0.2	37,0
			20 aumentos	MUE31200	0.3	30,0
			50 aumentos	MUE31500	0.4	22,0
			100 aumentos	MUE31900	0.6	10,0
	Campo claro/oscuro	TU fluorita Plan BD Fluorita Plan universal (semi-apocromática)	5 aumentos	MUE42050	0.15	18,0
			10 aumentos	MUE42100	0.3	15,0
			20 aumentos	MUE42200	0.45	4,5
			50 aumentos	MUE42500	0.8	1,0
			100 aumentos	MUE42900	0.9	1,0
		TU apocromática Plan BD Apocromática Plan universal (apocromática) 	50 aumentos	MUC41500	0.8	2,0
			100 aumentos	MUC41900	0.9	2,0
	Campo claro/oscuro Larga distancia de trabajo	TU Plan BD ELWD Plan universal con larga distancia de trabajo (semi-apocromática) 	150 aumentos	MUC41150	0.9	1,5
			20 aumentos	MUE61200	0.4	19,0
			50 aumentos	MUE61500	0.6	11,0
			100 aumentos	MUE61900	0.8	4,5

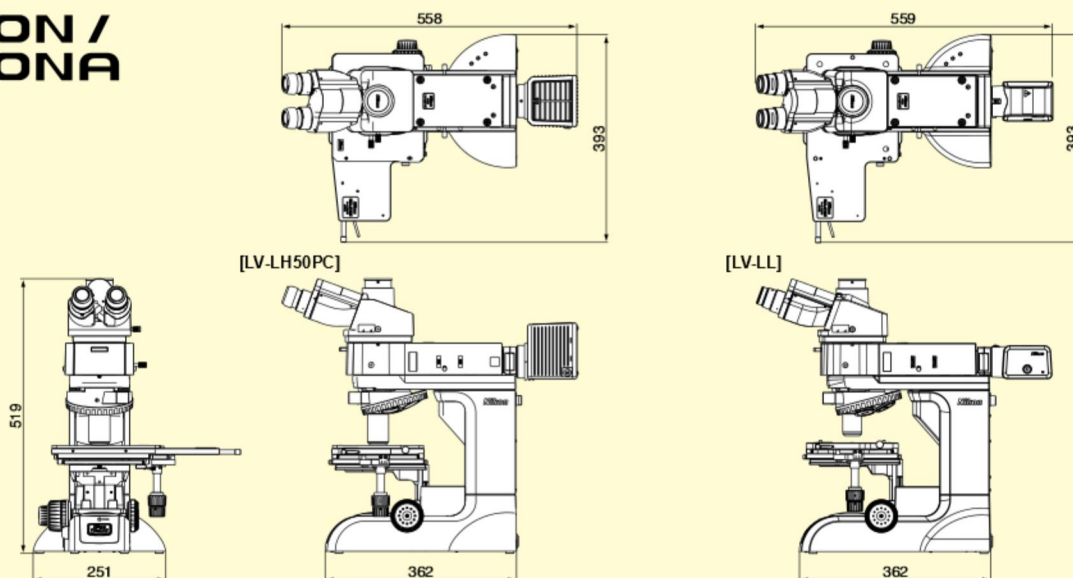
● : Tipo lente de fase de Fresnel (elemento óptico de difracción) ● Placa polarizante circular y despolarizador incorporados a la T Plan EPI de 1/2.5 aumentos. (La placa polarizante circular puede conectarse y desconectarse).

	Tipo	Modelo	Aumento	Código de producto	AN	Distancia de trabajo (mm)
CF <sub>60</sub>	Campo claro con mecanismo de corrección	L Plan EPI CR Para inspección de LCD Plan	20 aumentos	MUE35200	0.45	10,9 - 10,0
			50 aumentos	MUE35500	0.7	3,9 - 3,0
			100 aumentos	MUE35900	0.85	1,2 - 0,85
			100 aumentos	MUE35910	0.85	1,3 - 0,95
	Campo claro	L Plan EPI Plan (acromática)	40 aumentos	MUE00400	0.65	1,0
	Campo claro Distancia de trabajo súper larga	LU Plan EPI SLWD Plan con distancia de trabajo súper larga (acromática)	20 aumentos	MUE30201	0.35	24,0
			50 aumentos	MUE30501	0.45	17,0
			100 aumentos	MUE30901	0.7	6,5
	Campo claro	LU apocromática Plan EPI Apocromática Plan universal (apocromática)	100 aumentos	MUC00090	0.95	0,4
			150 aumentos	MUC10151	0.95	0,3
CF&IC	Campo claro/oscuro	LU apocromática Plan BD Apocromática Plan universal (apocromática)	100 aumentos	MUC40900	0.9	0,51
			150 aumentos	MUC50151	0.9	0,42
	Interferometría	CF IC EPI Plan TI Para interferometría Plan	2.5 aumentos	MUL42031	0.075	10,3
			5 aumentos	MUL42051	0.13	9,3
		CF IC EPI Plan DI Para interferometría de doble haz Plan	10 aumentos	MUL40101	0.3	7,4
			20 aumentos	MUL40201	0.4	4,7
			50 aumentos	MUL40501	0.55	3,4
			100 aumentos	MUL40900	0.7	2,0
	Campo claro	CF IC EPI apocromática Plan Apocromática Plan	50 aumentos	MUT10051	0.95	0,4
			100 aumentos	MUT10101	0.95	0,3
			150 aumentos	MUT10153	0.95	0,2

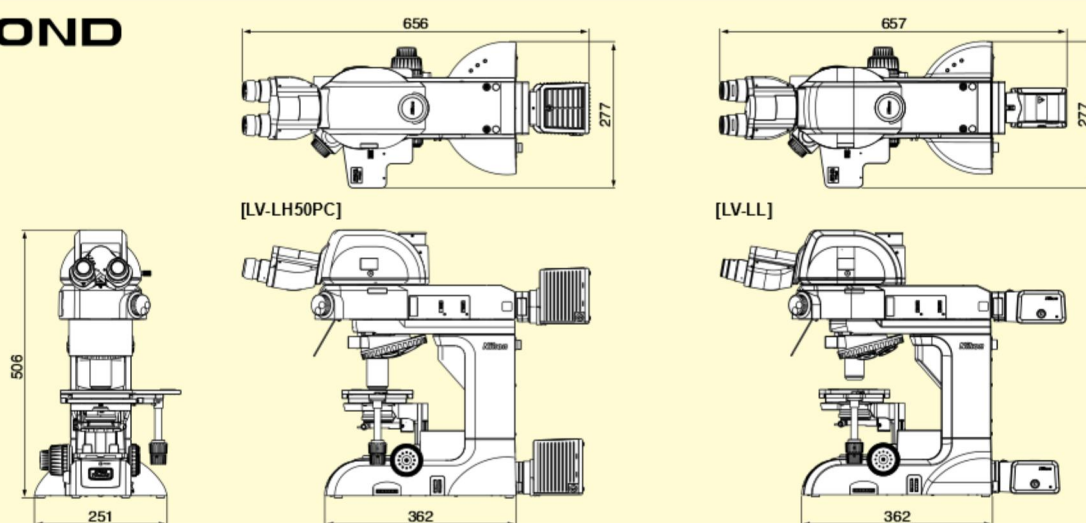


# Dimensions

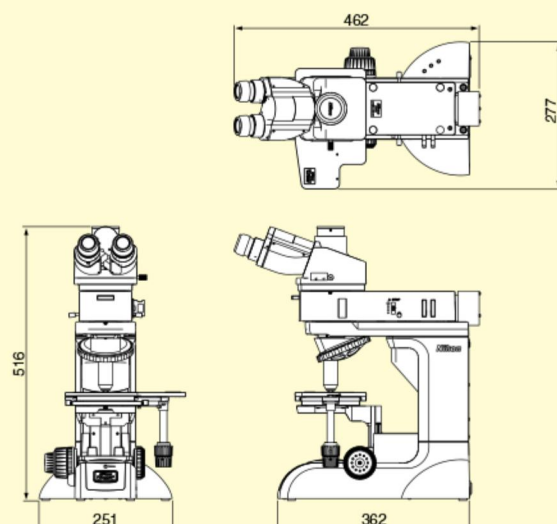
## LV150N / LV150NA



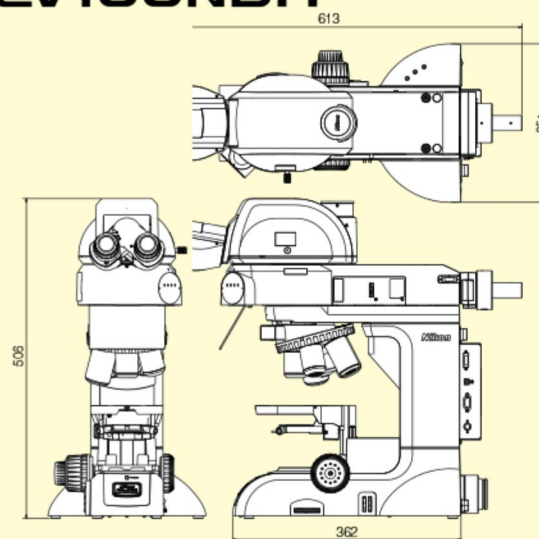
## LV100ND



## LV150NL

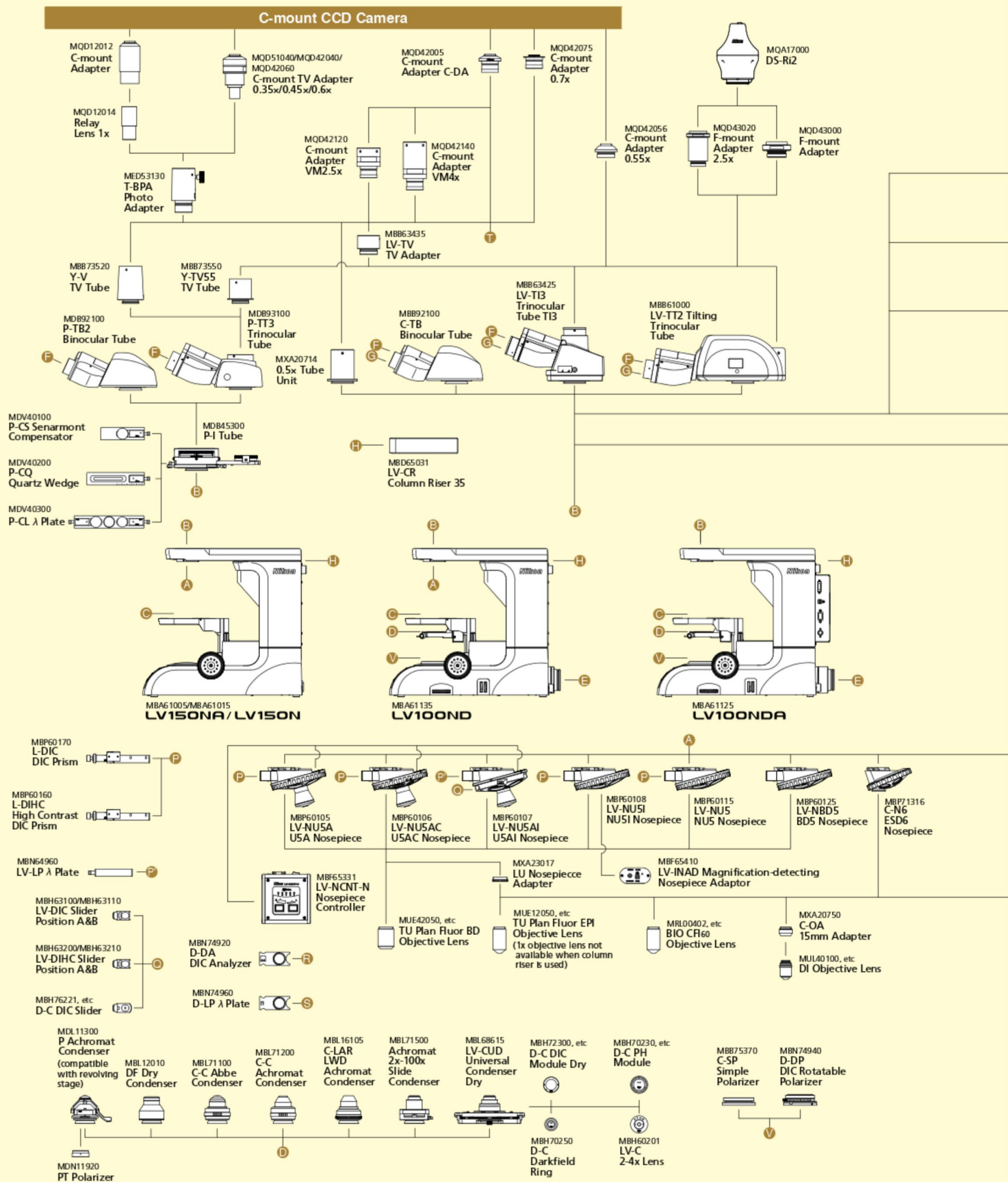


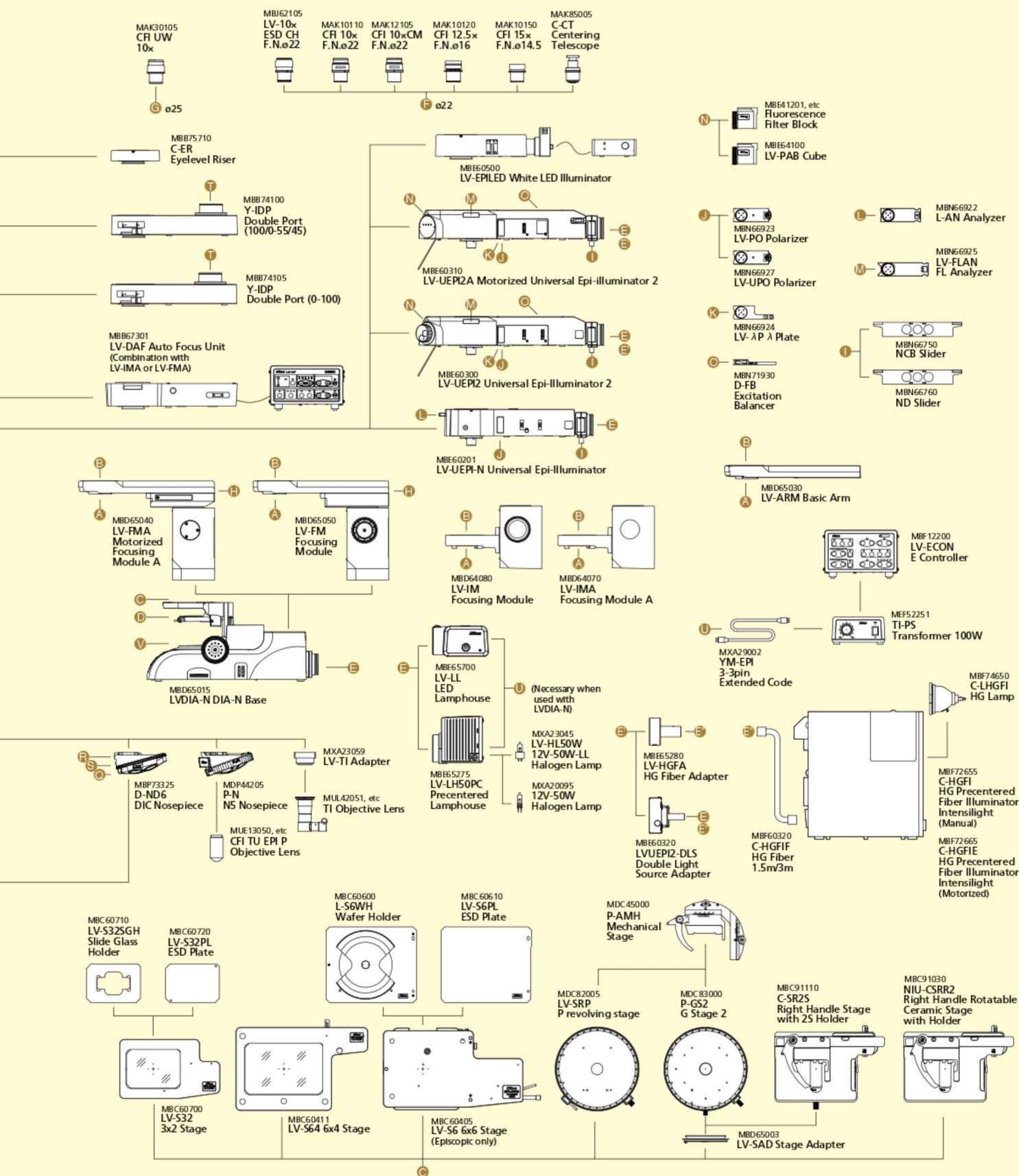
## LV100NDA



# Diagrama del sistema

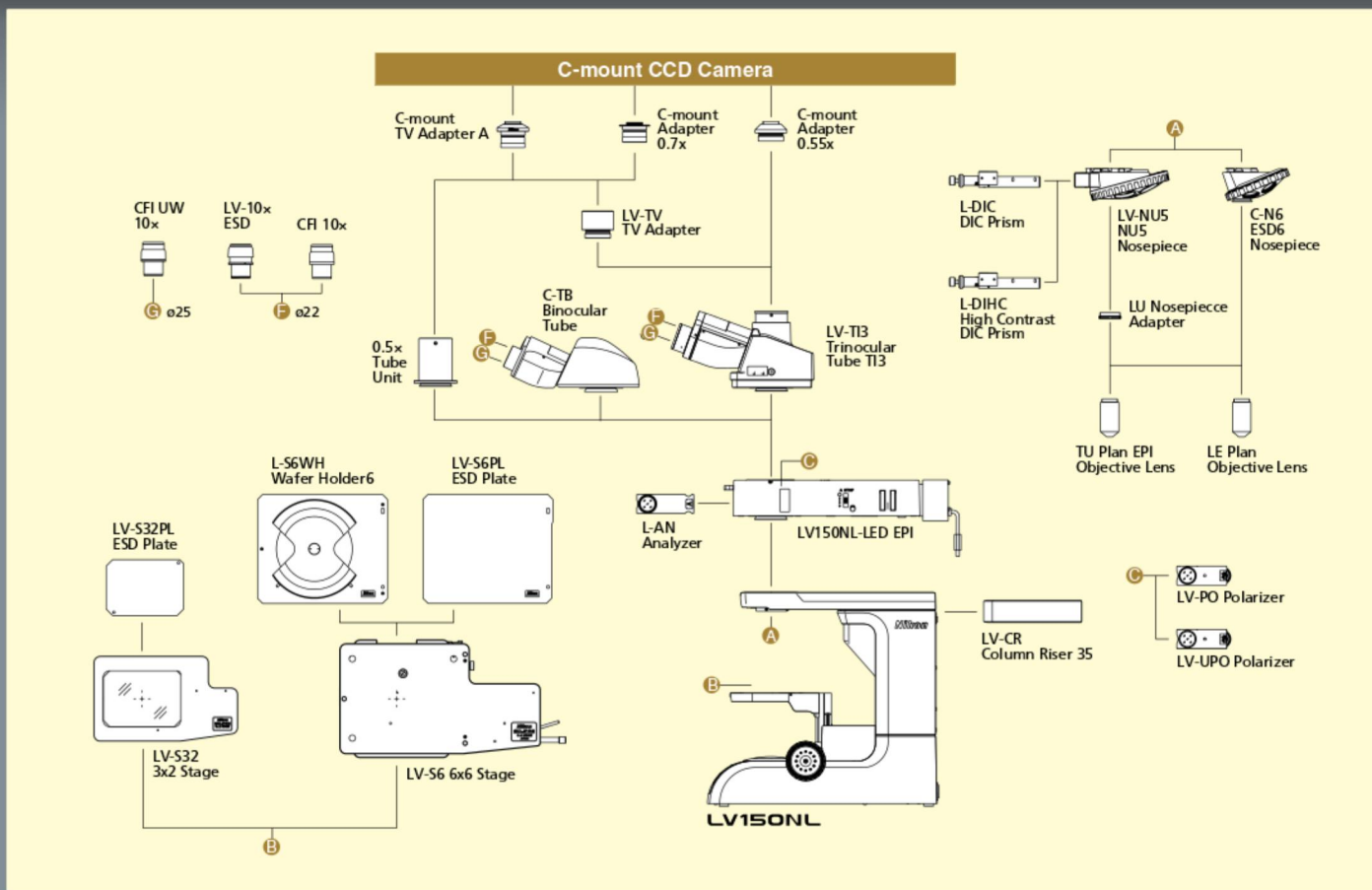
para LV150N/LV150ND/LV100NDA/LV100DA-U







para LV150NL



VN\_ES\_0718 – Copyright Nikon Metrology NV 2018. Todos los derechos reservados. Los materiales presentados son un resumen, están sujetos a cambios y se presentan solo como información general.



## ADVERTENCIA

PARA GARANTIZAR EL USO CORRECTO, LEA CUIDADOSAMENTE LOS MANUALES CORRESPONDIENTES ANTES DE USAR EL EQUIPO

\* Las imágenes de monitor son simuladas. Los nombres de empresas y productos que aparecen en este folleto son sus respectivas marcas comerciales o registradas.



NIKON METROLOGY NV

Geldenaaksebaan 329  
B-3001 Leuven, Bélgica  
Tel: +32 16 74 01 00 Fax: +32 16 74 01 03  
**Sales.NM@nikon.com**

**NIKON CORPORATION**

Shinagawa Intercity Tower C, 2-15-3, Konan,  
Minato-ku, Tokyo 108-6290 Japón  
Tel: +81 3 6433 3701 Fax: +81-3-6433-3784  
[www.nikon.com/products/industrial-metrology/](http://www.nikon.com/products/industrial-metrology/)

**ISO 14001 Certified  
for NIKON CORPORATION**

**ISO 9001 Certified  
for NIKON CORPORATION  
Industrial Metrology Business Unit**

**NIKON METROLOGY EUROPE NV**  
Tel: +32 16 74 01 01  
Sales.Europe.NM@nikon.com

**NIKON METROLOGY GMBH**  
Tel: +49 6023 91733-0  
Sales.Germany.NM@nikon.com

**NIKON METROLOGY SARL**  
Tel: +33 1 60 86 09 76  
Sales.France.NM@nikon.com

**NIKON METROLOGY, INC.**  
Tel: +1 810 2204360  
Sales.US.NM@nikon.com

**NIKON METROLOGY UK LTD.**  
Tel: +44 1332 811349  
Sales.UK.NM@nikon.com

**NIKON INSTRUMENTS (SHANGHAI) CO. LTD.**  
Tel: +86 21 6841 2050 (oficina de Shanghai)  
Tel: +86 10 5831 2028 (oficina de Beijing)  
Tel: +86 20 3882 0551 (oficina de Guangzhou)

**NIKON SINGAPORE PTE. LTD.**  
Tel: +65 6559 3651

**NIKON MALAYSIA SDN. BHD.**  
Tel: +60 3 7809 3688  
**NIKON INSTRUMENTS KOREA CO. LTD.**

Tel: +82 2 2186 8400  
**NIKON SALES (THAILAND) CO., LTD.**  
 Tel: +66-2633-5100

**NIKON INDIA PRIVATE LIMITED**  
Tel: +91-124-4688500

Más oficinas y distribuidores en [www.nikonmetrology.com](http://www.nikonmetrology.com)

# ONV524

Cámara IP H.264 720p WiFi

LEDs IR Alcance 20 m

Instalación Plug&Play P2P

Precio muy asequible

Onvif, compatible con NVR

Impermeable IP66



Cámara bullet IP NIVIAN de fácil instalación (Plug & Play), apta para exterior, compatible con NVR ONVIF.

Compuesta por un sensor de imagen 1/4" 1.0 Megapixel CMOS color y con una extraordinaria resolución de 720p (1280x720). Formato de compresión de vídeo H.264 y tasa de transferencia 25 FPS. Óptica fija de 3.6 mm y 36 LEDs infrarrojos que se activan automáticamente proporcionando así una imagen nítida a 0 Lux (oscuridad total) a una distancia máxima de 20 m. Dispone de filtro IR CUT automático que permite obtener durante el día una imagen con colores nítidos y reales.

Se trata de una cámara IP sencilla de instalar, gracias a su sistema Plug & Play (P2P) que en 3 cómodos pasos le permitirá acceder a la cámara de forma remota:

Conecte la cámara a la alimentación y a su router

Descargue la aplicación móvil iSmartView Pro

Añada la cámara a la aplicación escaneando el código QR dispuesto bajo la cámara

Conexión a red por puerto Ethernet o WiFi. Podrá acceder remotamente a la cámara a través de navegador, software para gestión de múltiples cámaras y smartphone. Acceso por usuario/contraseña, permitiendo definir múltiples usuarios y hasta un máximo de 9 accediendo de forma simultánea. Compatible con estándar ONVIF, por lo que es puede funcionar con diversos NVR del mercado. Servidor DDNS de fábrica protegido por contraseña con el que podrá acceder a la cámara de forma remota de manera sencilla y sin necesidad de disponer de IP fija.

Carcasa fabricada en aluminio, resistente al agua según protocolo IP66, puede ser usada tanto para interior como para exterior. Soporte para techo o pared integrado.

# Especificaciones

Sensor de imagen	1/4" 1.0 Megapixel CMOS color
Resolución	1280x720 (720P), 640x360 (VGA), 320x180 (QVGA)
Tasa de transferencia	25 FPS
Compresión	H.264/MJPEG
Lente	3.6 mm
Iluminación mínima	0 Lux / 36 LEDs (20 m)
Interfaz de red	Ethernet 10/100 BaseT y Wifi IEEE 802.11b/g/n
Protocolo de red	HTTP?UDP?SMTP?FTP?DHCP?DDNS?NTP?UPNP, RTSP, TCP
Interoperabilidad	ONVIF, RTSP
Acceso Plug&Play	P2P, con escaneo de código QR
Seguridad	Cuentas 3 niveles, contraseña y gestión multi-nivel de usuarios
Acceso remoto	Navegador, Software para PC y Teléfono Móvil
Uso	Exterior IP66
Alimentación	DC 12 V / 7W
Dimensiones / Peso	67 (Ø) x 180 (Fo) mm / 300 g

# Proyector LED exterior SLIM 10W IP65

## ATRIBUTOS DEL PRODUCTO

COLOR DE LUZ ■ Blanco Frío



## ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Alto	80mm
Ancho	100mm
Profundidad	20mm
Potencia (Watt)	10W
Formato chip LED	SMD 2835
Luminosidad (Lumens)	800LM
Ángulo Luminoso	120º
Grado de estanqueidad	IP65
Uso exterior	Si
Material Difusor	Cristal
Vida útil	25.000 horas
Material disipador	Aluminio
Transparencia difusor	Transparente
Temperatura de funcionamiento	-18°C ~ +55°C
Regulable	No



Sensor (2)	No
Certificados	CE, ROHS
Garantía	Según garantía legal

## DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

### Proyector LED Slim 10W

El **Proyector LED Slim 10W** es un **Foco LED** con un diseño compacto para su fácil colocación e instalación. Emite una potente iluminación de **bajo consumo**, con el Proyector LED Slim se puede ahorrar hasta un **85% de energía**. Gracias a su alta IP nos permite colocarlo en el exterior, sin ninguna preocupación.

El Proyector LED Slim 10W está fabricado en **aluminio de inyección de alta calidad**, además contiene un disipador de calor para controlar la temperatura del Foco LED y así ofrecer la mejor calidad lumínica en todo momento.

### Aplicaciones del Proyector LED Slim 10W

El **Proyector LED Slim** es ideal para iluminar cualquier zona de exterior:

- Jardines o Terrazas
- Carpas al aire libre
- Eventos o fiestas

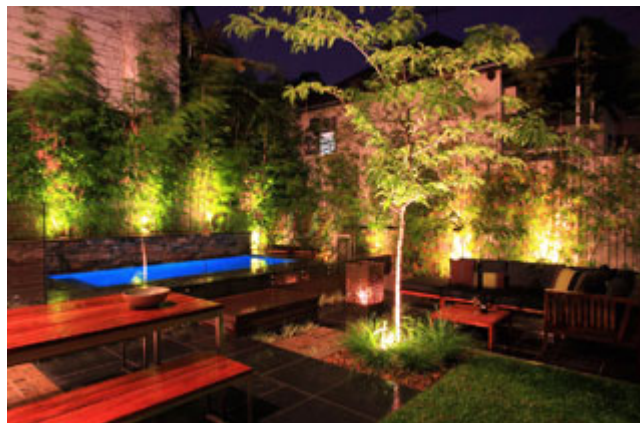
O para destacar diferentes objetos como: Esculturas, fuentes, Árboles...

### Características Técnicas del Proyector LED Slim 10W

- 10W
- 220-240V
- IP65
- Ángulo de iluminación 120º
- Temperatura de color: 6000K
- 800 lm
- Driver Integrado

### También te puede interesar...

Disponemos de un amplia gama de **Proyectores LED Slim** con diferentes potencias como por ejemplo: el **Proyector LED Slim 50W** o el **Proyector LED Slim 150W**, entre otros, además también tenemos **Proyectores LED Slim con detector de movimiento**.



### IMÁGENES DEL PRODUCTO

---

